

Indústria 4.0: Rumo à sustentabilidade nos Açores

Dissertação de Mestrado

Rui Miguel da Cunha Ataíde Bettencourt

Mestrado em

Gestão de Empresas (MBA)



Indústria 4.0: Rumo à sustentabilidade nos Açores

Dissertação de Mestrado

Rui Miguel da Cunha Ataíde Bettencourt

Orientadores

Prof. Doutor Osvaldo Dias Lopes da Silva

Prof. Doutor André Dionísio Bettencourt da Silva Parreira Rocha

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Empresas (MBA)



RESUMO

A Quarta Revolução Industrial tem impulsionado a digitalização e automação dos sistemas produtivos, transformando transversalmente todos os setores de atividade. Esta transformação, conhecida como Indústria 4.0, tem sido promovida na Europa e em Portugal através de estratégias que articulam inovação tecnológica e sustentabilidade, reconhecendo desigualdades territoriais e setoriais na sua implementação. Neste contexto, a transformação digital surge como uma oportunidade para os setores da Agricultura, da Agroindústria e do Mar e Crescimento Azul na Região Autónoma dos Açores, definidos como prioritários na RIS3-Açores. Esta dissertação analisa o estado de desenvolvimento da Indústria 4.0 nos Açores, nestes setores, através de uma abordagem mista, que integra inquéritos por questionário, entrevistas e referência a iniciativas-piloto em curso.

Os resultados confirmam o papel central da consciência e perceção sobre a transformação digital como variável explicativa da maturidade digital. Conclui-se, assim, que a perceção estratégica da transformação digital é um fator mobilizador do desenvolvimento da organização. Verifica-se, ainda, que a liderança é determinante na integração de práticas de sustentabilidade e de responsabilidade social, confirmando-se o papel central destas na consciência digital, com vista à mobilização organizacional para a inovação e a sustentabilidade. No entanto, persistem constrangimentos estruturais, como a escassez de recursos humanos qualificados, dificuldades de acesso ao financiamento e limitações de planeamento estratégico, especialmente nas microempresas e nos setores primários. As trajetórias de transformação digital revelam-se heterogéneas, moldadas pela dimensão, setor e tempo de atividade das organizações. As iniciativas de colaboração e o reforço das políticas públicas constituem vetores estratégicos para acelerar a maturidade digital e promover a integração de práticas sustentáveis, sublinhando a importância de adotar abordagens flexíveis, adaptadas às especificidades e dinâmicas do contexto regional.

Conclui-se que a Indústria 4.0 na região apresenta um percurso promissor, sobretudo se for apoiada por lideranças capacitadas, infraestruturas digitais adequadas e políticas públicas empreendedoras, orientadas para uma transição digital sustentável e alinhadas com os princípios emergentes de inovação, sustentabilidade e integração tecnológica.

Palavras-Chave: Agroindústria; Agricultura; Digitalização; Indústria 4.0; Mar; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution has driven the digitalization and automation of production systems, transforming all sectors of activity across the board. This transformation, known as Industry 4.0, has been promoted in Europe and Portugal through strategies that articulate technological innovation and sustainability, while acknowledging territorial and sectoral inequalities in its implementation. In this context, digital transformation emerges as a strategic opportunity for the Agriculture, Agribusiness, and Sea and Blue Growth sectors in the Autonomous Region of the Azores, identified as priorities in the RIS3-Azores. This dissertation analyzes the state of development of Industry 4.0 in the Azores, in these sectors, through a mixed-methods approach that integrates questionnaire surveys, interviews, and reference to ongoing pilot initiatives.

The results confirm the central role of awareness and perception of digital transformation as an explanatory variable for digital maturity. It is concluded that the strategic perception of digital transformation is a driving factor for organizational development. Leadership is also found to be decisive in the integration of sustainability and social responsibility practices, reinforcing their central role in digital awareness, aimed at organizational mobilization for innovation and sustainability. However, structural constraints persist, such as the shortage of qualified human resources, difficulties in accessing financing, and limitations in strategic planning, especially in microenterprises and primary sectors. Digital transformation trajectories are shown to be heterogeneous, shaped by the size, sector, and operational time of organizations. Collaborative initiatives and the strengthening of public policies constitute strategic vectors to accelerate digital maturity and promote the integration of sustainable practices, emphasizing the importance of adopting flexible approaches adapted to the specificities and dynamics of the regional context.

It is concluded that Industry 4.0 in the region presents a promising path, particularly if supported by qualified leadership, adequate digital infrastructures, and entrepreneurial public policies, oriented towards a sustainable digital transition and aligned with emerging principles of innovation, sustainability, and technological integration.

Keywords: Agriculture; Agri-food Industry; Blue Growth; Digitalization; Industry 4.0; Innovation; Sea; Sustainability.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os empresários dos Açores, cuja resiliência, capacidade de adaptação e espírito inovador constituem pilares essenciais para o progresso sustentável da nossa região. São eles que, enfrentando desafios estruturais e geográficos, continuam a afirmar os Açores como um território de oportunidade e modernização.

Uma homenagem especial é devida ao João Vasconcelos, cujo contributo visionário na implementação do programa nacional “Indústria 4.0” ajudou a moldar a indústria em Portugal para a era digital. Figura central na promoção estratégica da inovação, do empreendedorismo e da modernização tecnológica, o seu legado trouxe à luz conceitos que redefiniram a forma como compreendemos e nos relacionamos com a Quarta Revolução Industrial. O seu trabalho continua a inspirar políticas públicas e iniciativas privadas orientadas para uma economia mais competitiva, inovadora e sustentável.

Dedico, ainda, com particular gratidão, ao Professor Doutor José Gabriel do Álamo de Meneses, homem dotado de uma visão notavelmente superior, que dedicou a sua vida ao serviço do desenvolvimento dos Açores e às políticas que estiveram na génese da formação das gerações mais qualificadas destas ilhas. A sua amizade foi fundamental e uma constante fonte de inspiração para a minha formação pessoal e profissional. O seu legado continua a inspirar todos nós que tivemos a honra de aprender com ele.

"A nossa luta não é só contra a natureza ou o mar, é também uma luta por reconhecimento e progresso." – Dias de Melo, in Pedras Negras

AGRADECIMENTOS

Quero começar por expressar a minha mais profunda gratidão aos meus orientadores Prof. Doutor Osvaldo Dias Lopes da Silva e Prof. Doutor André Dionísio Bettencourt da Silva Parreira Rocha. O vosso apoio, sabedoria e paciência foram a bússola que me guiou através desta jornada incrível. Sem vocês, este projeto não teria sido possível, e sou imensamente grato pela vossa inestimável orientação.

Um enorme obrigado também a todos os participantes desta pesquisa. As vossas perspetivas e experiências foram vitais e enriqueceram tremendamente este estudo. Cada conversa, cada troca de ideias, contribuiu para tornar esta pesquisa não só mais completa, mas também mais significativa.

Um obrigado gigantesco à minha família. Aos meus pais, não tenho palavras suficientes para expressar o meu profundo agradecimento. À Mafalda Isabel e ao Martim, vocês são verdadeiramente a minha força e a minha inspiração diária. Durante as inúmeras vezes em que estive ausente, concentrado neste desafio, vocês cuidaram do essencial e garantiram que nada me faltasse. A vossa paciência, amor e apoio incondicional não só foram o meu refúgio nos momentos mais desafiantes, como também o sustento que me permitiu perseverar. Obrigado por tudo, por cuidarem de mim e por estarem sempre ao meu lado.

Gostaria de expressar, ainda, a minha imensa gratidão à Geração 4.0, um grupo excecional de amigos que trabalha, diariamente, em ideias para o progresso da nossa terra. A vossa criatividade, dedicação e visão têm sido uma fonte constante de inspiração e de motivação.

A todos vocês, um sincero obrigado. Este trabalho é o resultado da nossa colaboração, e eu sou eternamente grato a cada um de vós por fazerem parte desta jornada.

ÍNDICE

RESUMO	1
ABSTRACT	II
DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VIII
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 Reflexão teórica sobre as revoluções industriais anteriores	3
2.1.1 Indústria 1.0.....	4
2.1.2 Indústria 2.0.....	4
2.1.3 Indústria 3.0.....	5
2.2 Indústria 4.0	6
2.2.1 Princípios e tecnologias capacitadoras da Indústria 4.0.....	7
2.2.2 Impactos e desafios na implementação da Indústria 4.0.....	12
2.2.3 Programas de aceleração da Indústria 4.0 na União Europeia e em Portugal....	13
2.2.4 Caracterização estrutural e evolução dos setores primários.....	14
2.2.5 Iniciativas-piloto nos Açores.....	16
2.2.6 Indústria 4.0 e os objetivos de desenvolvimento sustentável.....	17
2.2.7 Modelos de maturidade.....	18
CAPÍTULO III – MÉTODO	22
3.1 Propósito do estudo e questões de investigação	22
3.2 Instrumentos de recolha de dados	24
3.3 Técnicas estatísticas	25
3.4 Caracterização da amostra.....	26
CAPÍTULO IV – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	28
4.1 Da análise exploratória de dados à análise inferencial.....	28
4.1.1 Consciência e perceção sobre a transformação digital	29
4.1.2 Avaliação do ponto de partida digital da organização	30
4.1.3 Alinhamento e visão estratégica da liderança	32
4.1.4 Conhecimento e implementação das tecnologias da Indústria 4.0	33
4.1.5 Impacto da localização geográfica nos desafios e oportunidades	36
4.1.6 Sustentabilidade e responsabilidade social	37
4.1.7 Interação com o ecossistema local e regional	38
4.1.8 Perceção das organizações relativamente às consequências futuras da adoção da Indústria 4.0	38
4.2 Avaliação da qualidade do modelo proposto	40
4.3 Estrutura da entrevista e análise qualitativa das respostas	50
4.3.1 Transformação digital	51
4.3.2 Liderança e cultura organizacional.....	51
4.3.3 Sustentabilidade e responsabilidade social	51
4.3.4 Interação com o ecossistema	52
4.3.5 Sobre o PO Açores 2020 e o impacto do PRR	52
CAPÍTULO V – CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	57
ANEXOS.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores do coeficiente alfa de Cronbach para os construtos em análise.....	29
Tabela 2. Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra	29
Tabela 3. Síntese dos resultados das hipóteses de investigação – 12 construtos.....	40
Tabela 4. Resultados da fiabilidade, da validade convergente e da validade discriminante	40
Tabela 5. Resultados testes de significâncias às hipóteses sob investigação	42
Tabela 6. Resultados da análise multigrupo por setor de atividade (G1 vs. G2).....	45
Tabela 7. Resultados da análise multigrupo por dimensão da organização (D1 vs. D2)	47
Tabela 8. Resultados da análise multigrupo por tempo no mercado (T1 vs. T2)	49
Tabela 9. Listagem de políticas nacionais – Indústria 4.0.....	79
Tabela 10. Resultados do teste de Kruskal-Wallis - variáveis sociodemográficas	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caracterização da amostra (%).....	27
Figura 2. Resultados do modelo final utilizado com recurso ao PLS-SEM.....	41
Figura 3. Localização da operação das organizações (%).....	88
Figura 4. Consciência e perceção sobre a transformação digital (%).....	88
Figura 5. Ponto de partida - digitalização (%).....	89
Figura 6. Motivos para a transformação digital (%).....	89
Figura 7. Nível de prontidão (%).....	90
Figura 8. Nível de investimento (%).....	90
Figura 9. Alinhamento e visão estratégica da liderança (%).....	91
Figura 10. Avaliação da comunicação (visão digital da liderança) (%).....	91
Figura 11. Conhecimento e implementação (%).....	92
Figura 12. Implementação de tecnologias da Indústria 4.0 (%).....	93
Figura 13. Limitações e estratégias de superação (%).....	94
Figura 14. Satisfação do desempenho operacional vs impacto financeiro (%).....	94
Figura 15. Competências dos recursos humanos (%).....	95
Figura 16. Impacto da localização geográfica (%).....	95
Figura 17. Impacto da localização geográfica – desafios (%).....	96
Figura 18. Impacto da localização geográfica – oportunidades (%).....	96
Figura 19. Praticas de sustentabilidade e responsabilidade social cooperativa (%).....	97
Figura 20. Impacto sustentabilidade e responsabilidade social (%).....	97
Figura 21. Parcerias para I&D (%).....	98
Figura 22. Interação e apoio do ecossistema (%).....	98
Figura 23. Consequências da adoção da Indústria 4.0 em cinco anos (%).....	98
Figura 24. Tecnologias emergentes (%).....	99
Figura 25. Modelo conceptual inicial.....	99
Figura 26. Nuvem de palavras - transformação digital.....	100
Figura 27. Nuvem de palavras - liderança e cultura organizacional.....	101
Figura 28. Nuvem de palavras – sustentabilidade e RSC.....	102
Figura 29. Nuvem de palavras - interação com o ecossistema.....	103
Figura 30. Nuvem de palavras - apoios públicos e políticas regionais.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS

AI / IA – Inteligência Artificial
AIR Centre – Atlantic International Research Centre
AR / RA – Realidade Aumentada
CNC - Controlo Numérico Computadorizado
CSR / RSC – Responsabilidade Social Corporativa
ESG – Ambiental, Social, Governação
I&D – Investigação e Desenvolvimento
i4.0 – Indústria 4.0
INE – Instituto Nacional de Estatística
IoT – Internet das Coisas
ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade
LAN – Local Area Network
LoRaWAN – Long Range Wide Area Network
LPWAN – Low Power Wide Area Network
PLS-MGA – Partial Least Squares - Multi-Group Analysis
PLS-SEM – Partial Least Squares Structural Equation Modeling
PO Açores 2020 – Programa Operacional Açores 2020
PRR – Plano de Recuperação e Resiliência
RFID – Radio Frequency Identification
RIS3 – Estratégia de Especialização Inteligente
SDGs / ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SMEs / PME's – Pequenas e Médias Empresas
TERINOV – Parque de Ciência e Tecnologia da Ilha Terceira
TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação
UN / ONU – Organização das Nações Unidas
VR / RV – Realidade Virtual
WAN – Wide Area Network
ZLT – Zona Livre Tecnológica

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, conceito que surgiu, oficialmente, na Alemanha, em 2011, refere-se à Quarta Revolução Industrial, marcada pela convergência entre sistemas físicos e digitais nos processos produtivos. Embora sem definição única, este conceito tem sido abordado sob diferentes perspetivas — tecnológicas, estratégicas e sustentáveis — refletindo a sua complexidade e o seu potencial transformador (Ghobakhloo, 2018; Piccarozzi *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2017).

A evolução tecnológica contemporânea tem-se afirmado como um pilar central na redefinição das práticas industriais, desencadeando transformações que ultrapassam o âmbito produtivo e impactam, também, as dimensões sociocultural e económica a nível global.

Perante a aceleração tecnológica e o carácter disruptivo que esta revolução impõe, o setor industrial global enfrenta o desafio de se adaptar rapidamente a novos modelos organizacionais, a tecnologias emergentes e a práticas de gestão inovadoras (Horváth & Szabó, 2019). Esta transição torna-se, ainda, mais exigente em regiões com características geográficas e estruturais específicas, como é o caso da Região Autónoma dos Açores.

Neste contexto, torna-se pertinente questionar de que forma a Indústria 4.0, ainda numa fase de “limbo tecnológico” (De Propris & Bailey, 2020, p. 3), pode ser implementada de forma eficaz e sustentável nos Açores, contribuindo não apenas para a eficiência e competitividade empresarial, mas também para o desenvolvimento económico e para a coesão territorial, respeitando as singularidades regionais. No contexto da região, este paradigma não se configura apenas como uma oportunidade de modernização, mas como uma necessidade estratégica para ultrapassar desafios estruturais associados ao isolamento geográfico e à reduzida escala produtiva.

A digitalização dos processos e a introdução de soluções inteligentes podem, neste contexto, funcionar como instrumentos de compensação para suprir desvantagens naturais, reforçando a competitividade das empresas e promovendo o desenvolvimento económico sustentável da região.

Com base neste enquadramento, a presente dissertação propõe-se analisar o grau de implementação da Indústria 4.0 nas organizações açorianas que operam nos setores estratégicos da Agricultura, da Agroindústria, e do Mar e Crescimento Azul, identificados como prioritários na RIS3 Açores (2022). Complementarmente, integrou-se a perspetiva

de organizações que prestam apoio tecnológico e logístico, reconhecidas como atores fundamentais na viabilização e consolidação dos processos de digitalização.

Para além de aferir o ponto de partida digital das empresas, procura-se compreender os obstáculos enfrentados na transição tecnológica, bem como as motivações, capacidades e estratégias que estão a ser mobilizadas para concretizar essa transformação.

De forma complementar, o trabalho explora a forma como a Indústria 4.0 pode contribuir para práticas empresariais mais sustentáveis (Bag *et al.*, 2021; Stock & Seliger, 2016), tanto ao nível da eficiência energética e da gestão de recursos, como na criação de produtos e serviços com menor impacto ecológico. A sustentabilidade é, neste sentido, assumida não apenas como um fim, mas como um eixo estruturante da estratégia empresarial, sendo importante analisar se, e como, a transição digital está a ser articulada com objetivos ambientais e sociais.

Devido às suas especificidades, os Açores configuram-se como um território-laboratório para testar tecnologias da Indústria 4.0 com potencial de replicação noutras regiões insulares. Inspirando-se na visão de Mazzucato, (2014) sobre o papel empreendedor do Estado, este estudo analisa a função das iniciativas-piloto enquanto catalisadoras da criação de novas empresas e estímulo para a atração de profissionais qualificados. As iniciativas-piloto em curso nos Açores demonstram a capacidade da região para mobilizar colaborações entre empresas, centros de I&D e entidades públicas, consolidando ecossistemas de inovação com forte impacto territorial.

A nível teórico, a investigação realiza uma revisão da literatura que aborda os principais conceitos, construtos e determinantes associados à adoção da Indústria 4.0, incluindo os modelos de maturidade digital, os fatores organizacionais, tecnológicos e ambientais que influenciam o processo de transformação, bem como a relação entre digitalização e sustentabilidade. Através de uma abordagem mista, integrando inquéritos, entrevistas e a análise de iniciativas-piloto, procura-se compreender os fatores que potenciam ou limitam a transição digital na região; e propor recomendações que contribuam para uma implementação mais eficaz, sustentável e adaptada às especificidades territoriais dos Açores.

CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão da literatura relevante para o enquadramento do estudo. A análise abrange a evolução das revoluções industriais, a definição e principais características da Indústria 4.0, bem como as tecnologias subjacentes e os seus impactos nos domínios social, económico e ambiental. Incluem-se, ainda, iniciativas e programas implementados que visam acelerar a transição digital. Por fim, discutem-se os principais modelos de maturidade existentes na literatura, avaliando o seu contributo para a compreensão e operacionalização da transformação digital nas organizações.

2.1 Reflexão teórica sobre as revoluções industriais anteriores

As revoluções industriais constituem fenómenos estruturais que resultam da conjugação entre avanços tecnológicos e mudanças profundas nos sistemas socioeconómicos. São processos históricos de longa duração que alteram, significativamente, os modos de produção, as estruturas organizacionais e o próprio funcionamento das economias (Bianchi & Labory, 2017; De Propris & Bailey, 2020; Nuvolari, 2019).

O seu surgimento está, geralmente, associado à acumulação de conhecimento técnico-científico, à necessidade de maior eficiência produtiva, à concentração de capital, à disponibilidade de recursos e à criação de um ambiente institucional propício à transformação, que é considerado crucial (Kushnirenko, 2021).

Do ponto de vista dos impactos, estas revoluções provocam mudanças estruturais na organização do trabalho, nas cadeias de valor, nos setores predominantes da economia e na relação entre humanos e tecnologia. Para além da dimensão económica, influenciam, também, aspetos culturais e sociais, reconfigurando o papel do indivíduo na produção e nas dinâmicas de inovação (De Propris & Bailey, 2020; Klingenberg *et al.*, 2022).

Em termos de implicações, cada Revolução Industrial representa tanto desafios; como oportunidades. De facto, por um lado, impõe exigências de adaptação organizacional, requalificação profissional e resposta institucional; por outro, abre caminhos para novas formas de desenvolvimento, para o aumento da produtividade e para a criação de valor em diferentes setores, nomeadamente, quando alinhadas com objetivos de sustentabilidade (De Propris & Bailey, 2020; Ghobakhloo *et al.*, 2021; Piccarozzi *et al.*, 2018). Nas subsecções seguintes, são analisadas as principais revoluções industriais, desde a mecanização inicial até à digitalização e descentralização da produção.

2.1.1 Indústria 1.0

A Primeira Revolução Industrial, que decorreu entre 1750 e 1850, teve início em Inglaterra e marcou uma rutura com o modelo económico agrário tradicional, dando lugar a uma economia industrial baseada na produção mecanizada. Esta transformação foi impulsionada por inovações tecnológicas como a máquina a vapor, o tear mecânico e novos métodos de produção de ferro e aço, que permitiram ganhos substanciais de produtividade (Deane, 1966; Mohajan, 2019; Scott, 2020). A emergência do sistema fabril e o crescimento de centros urbanos industriais alteraram profundamente a organização do trabalho e da sociedade.

Os impactos desta revolução foram vastos: economicamente, registou-se um forte crescimento da produção, dos mercados e da acumulação de capital; socialmente, assistiu-se a um aumento da população urbana, através do êxodo rural e à criação de uma nova estrutura *societal* marcada pela diferenciação entre capitalistas e operariado (Alvarez-Palau *et al.*, 2024; Jiang, 2024).

O legado da Primeira Revolução Industrial permanece visível nas práticas industriais e políticas económicas atuais, sendo frequentemente apontada como o ponto de partida da modernidade e da industrialização global (Prado, 2010).

2.1.2 Indústria 2.0

A Segunda Revolução Industrial, ocorrida entre a segunda metade do século XIX e o início do século XX, representou uma nova etapa de profundas transformações tecnológicas, económicas e sociais. Foi marcada pelo desenvolvimento da eletricidade, do aço, da engenharia eléctrica e de novos meios de transporte, como os automóveis e as aeronaves, que alteraram de forma decisiva a estrutura industrial e contribuíram para uma melhoria significativa das condições de vida (Khudokormov, 2022; Zhang & Yang, 2020).

Após 1850, o ritmo das invenções acelerou-se notoriamente, a inovação passou a depender menos do engenho artesanal e mais do trabalho sistematizado de cientistas e engenheiros em laboratórios industriais, refletindo uma nova lógica de investigação e desenvolvimento (Bloom *et al.*, 2016). A criação e a expansão de novas indústrias, não só impulsionaram o crescimento económico, como também moldaram novas dinâmicas sociais e culturais (Khudokormov, 2022). As inovações tecnológicas permitiram o acesso a bens e serviços anteriormente limitados, elevando o padrão de vida em muitos países industrializados (Zhang & Yang, 2020). Paralelamente, os avanços industriais não se limitaram ao setor civil, verificando-se, também, um desenvolvimento expressivo de

novas tecnologias militares, com repercussões na política e na segurança globais. (Khudokormov, 2022).

Embora centrada, inicialmente, em países como os Estados Unidos da América e a Alemanha, esta Revolução Industrial teve efeitos globais, servindo de modelo e estímulo para processos de industrialização noutras regiões do mundo (Coleman, 1956). Esta fase consolidou as bases da indústria moderna, afirmando-se como um período de transição profunda que redefiniu a forma como se produz, se vive e se organiza a sociedade contemporânea.

2.1.3 Indústria 3.0

A Terceira Revolução Industrial, iniciada na década de 1970, representou uma mudança estrutural da economia industrial para uma economia orientada pelas tecnologias da informação e pelo surgimento dos primeiros conceitos de sustentabilidade.

Este período foi caracterizado pela integração progressiva das redes energéticas, pela difusão da produção digital e pela transição para modelos mais descentralizados e ecológicos de produção (Kolin, 2021). A democratização do acesso às tecnologias e aos dispositivos de fabrico digital desafiou os sistemas produtivos tradicionais e contribuiu para uma reorganização das estruturas sociais (Naboni & Paoletti, 2015, 2020).

Um aspeto distintivo desta Revolução Industrial foi a centralidade das tecnologias de informação, que alteraram a forma como se acede, partilha e utiliza o conhecimento, com efeitos diretos na organização urbana e na relação entre cidadãos e território, marcando o início da "aldeia global". (Fitzsimmons, 1994). Além disso, esses novos avanços tecnológicos proporcionaram o surgimento de computadores, de redes de sistemas, como *Wireless Area Network* (WAN), *Local Area Network* (LAN) e *Metropolitan Area Network* (MAN), a introdução da robótica na indústria (CNC) e o início da internet (Coelho, 2022).

Houve um impacto importante na disciplina da arquitetura e da engenharia, por exemplo, ao permitir novas formas de articulação entre design e construção, com recurso a sistemas produtivos avançados e a ferramentas digitais colaborativas (Naboni & Paoletti, 2020).

Esta revolução traduziu-se numa reconfiguração profunda da economia, da energia e da cultura tecnológica, cujos princípios lançaram as bases para as transformações tecnológicas mais recentes.

2.2 Indústria 4.0

A Quarta Revolução Industrial, a que atualmente presenciamos, corresponde a um período de rápida transformação tecnológica, marcado pela integração de tecnologias digitais, físicas e biológicas. O conceito refere-se à fusão de tecnologias emergentes que transformam a produção e a interação sociais (G. Li *et al.*, 2017; Walters & Vorster, 2016; M. Xu *et al.*, 2018).

Nesta transição, passamos de um modelo de produção baseado num sistema internet/cliente-servidor para um modelo que combina os ambientes digitais e físicos com as novas tecnologias de informação, as tecnologias operacionais e a internet das coisas (Coelho, 2022).

Entre as suas principais características, destacam-se a convergência de tecnologias como IoT, inteligência artificial, robótica e realidade virtual (Nath, 2018; Rotatori *et al.*, 2020), a digitalização total dos processos produtivos (Hamad & Jawad, 2024) e a interligação entre os mundos digital e físico, permitindo uma gestão mais integrada da vida quotidiana (M. Xu *et al.*, 2018).

Esta revolução tem gerado impactos profundos nas dimensões económica, social e tecnológica. No plano económico, destaca-se a transformação do comércio internacional, com alterações no volume e na estrutura do mercado global. A digitalização intensificou o papel dos serviços e modificou a logística, exigindo novas formas de competitividade (A. Khan, 2024). No mercado de trabalho, verifica-se uma crescente necessidade de requalificação e adaptação da força de trabalho, acompanhada por mudanças significativas nas relações laborais e nas exigências de competências (Rotatori *et al.*, 2020), visto que a digitalização, a robotização e a servitização estão entre as transformações mais notáveis (De Propriis & Bailey, 2020). Esta revolução também afeta a identidade humana e as relações sociais, alterando a forma como os indivíduos interagem, consomem e se percebem no mundo digital (Nath, 2018).

Para além destes impactos, a Indústria 4.0 introduz exigências estruturais ao nível da sustentabilidade e da resiliência dos sistemas produtivos. A crescente interconectividade entre pessoas, organizações e tecnologias fomenta o surgimento de redes colaborativas que se afirmam como resposta estratégica aos desafios ambientais, sociais e económicos. Neste sentido, ganha destaque a noção de “fabricação sustentável”, assente na integração de processos mais eficientes e responsáveis, com menor consumo de recursos e menor impacto ambiental. Estas práticas são viabilizadas pela cooperação entre múltiplos intervenientes na cadeia de valor, promovendo modelos como a economia circular, a

simbiose industrial e os ecossistemas digitais (Camarinha-Matos *et al.*, 2024; De Propris & Bailey, 2020). Paralelamente, os sistemas industriais enfrentam, cada vez mais, eventos disruptivos – como pandemias, crises climáticas ou instabilidade geopolítica – que reforçam a importância da resiliência organizacional e da capacidade de adaptação. Assim, os princípios da corresponsabilidade e da colaboração tornam-se fundamentais na construção de sistemas industriais mais sustentáveis e robustos no contexto da Indústria 4.0 (Camarinha-Matos *et al.*, 2024).

2.2.1 Princípios e tecnologias capacitadoras da Indústria 4.0

No contexto da Indústria 4.0, a transformação digital dos sistemas produtivos assenta num conjunto de princípios fundamentais que orientam a digitalização, a automação e a integração inteligente dos processos industriais. Estes princípios, definidos por Hermann *et al.* (2016) como “princípios de design”, impulsionam uma profunda reorganização das operações industriais, substituindo estruturas isoladas por sistemas interligados, mais eficientes e adaptáveis. A evolução tecnológica, intensificada pela redução contínua de custos prevista na “Lei de Moore” (Moore, 1965), tem acelerado a adoção dessas soluções, tornando-as cada vez mais acessíveis a diferentes tipos de organizações. No entanto, esta transição é frequentemente marcada por um “limbo tecnológico” — uma fase de indefinição, em que tecnologias tradicionais se tornam obsoletas antes que as novas estejam plenamente consolidadas (De Propris & Bailey, 2020).

Entre os principais atributos que sustentam os sistemas produtivos da Indústria 4.0, destacam-se a adaptabilidade, a conectividade, a digitalização, a eficiência, a escalabilidade, a fiabilidade, a integridade, a interoperabilidade, a precisão, a segurança e a sustentabilidade. Estes atributos permitem uma gestão mais inteligente, ágil e orientada para a criação de valor, mas a sua concretização depende, também, de fatores humanos e organizacionais, nomeadamente a capacitação contínua dos trabalhadores, o alinhamento estratégico das lideranças e a cultura de inovação (Camarinha-Matos *et al.*, 2024; Hermann *et al.*, 2016; Rüßmann *et al.*, 2015).

Inicialmente, foram identificados nove pilares tecnológicos por Rüßmann *et al.* (2015); todavia, a crescente complexidade e maturidade do conceito de Indústria 4.0 levou ao alargamento deste quadro. Falcão (2019) propôs uma expansão para 27 pilares, salientando a necessidade de clarificação e consolidação teórica sobre o tema. Entre os pilares adicionais incluem-se aspetos como interoperabilidade, descentralização, modularidade, fábricas inteligentes, cadeias de abastecimento inteligentes e, de forma

inovadora, a educação foi identificada como elemento estruturante, reforçando a importância da qualificação para enfrentar os desafios desta nova Revolução Industrial.

Por seu turno, Camarinha-Matos *et al.* (2024) propõem um modelo conceptual integrado que associa a Indústria 4.0, a sustentabilidade e as redes colaborativas, assente em seis dimensões.

Estas dimensões estão organizadas em torno de duas perspetivas complementares: a do sistema de produção e a do produto/serviço. Na primeira, incluem-se a integração vertical; a integração horizontal; e a aceleração da produção. Na segunda, a engenharia ponta-a-ponta, produtos inteligentes e digitalização; e os novos modelos de negócio. Estes autores propõem o desenvolvimento de modelos colaborativos, com vista à sustentabilidade, reforçando ainda o papel da resiliência organizacional e da corresponsabilidade entre os atores do ecossistema industrial.

Na perspetiva de Camarinha-Matos *et al.* (2024), a integração vertical e horizontal dos sistemas constitui uma dimensão fundamental da Indústria 4.0, indo além da simples conectividade técnica. A integração vertical refere-se à articulação entre diferentes níveis de uma organização — do chão de fábrica até à gestão estratégica —, permitindo uma maior coerência na utilização de dados, na alocação de recursos e na resposta a variações da procura. Já a integração horizontal foca-se na colaboração entre diferentes entidades ao longo da cadeia de valor, como fornecedores, clientes e parceiros logísticos, promovendo redes operacionais interligadas, ágeis e transparentes. A aceleração de produção pretende incorporar as tecnologias exponenciais com os novos atores do setor produtivo, resultando numa maior flexibilidade, inovação e colaboração entre sistemas ciberfísicos, recursos humanos e máquinas inteligentes, que levam a uma otimização dos processos.

No que respeita à dimensão produto/serviço, os autores identificam três vertentes fundamentais: a primeira vertente, engenharia ponta-a-ponta, refere-se à integração de todas as atividades de engenharia ao longo do ciclo de vida do produto, promovendo a colaboração entre departamentos, fornecedores e clientes, com vista ao aumento da eficiência e inovação; a segunda vertente, produtos inteligentes e digitalização, cobre várias subdimensões, como modelos digitais de produtos, servitização, e produtos inteligentes – ou seja, pretende o desenvolvimento de produtos inteligentes, dotados de capacidade de sensorização, comunicação e análise de dados, bem como a criação de gémeos digitais que facilitem a rastreabilidade, a manutenção e a adaptação dos produtos; a terceira vertente, novos modelos de negócio, refere-se ao surgimento e desenvolvimento

de novos modelos de negócio que tiram partido da digitalização e da colaboração em rede, para criar soluções mais sustentáveis e centradas no utilizador, nos quais se incluem os sistemas produto/serviço, *Glocal enterprises* e cadeias de valor híbridas.

Camarinha-Matos *et al.* (2024) interpretam estas integrações como condições essenciais para a formação de ecossistemas colaborativos, em que a troca de informação em tempo real e a coordenação entre agentes económicos possibilitam maior flexibilidade, rastreabilidade e resiliência.

Estas abordagens complementares demonstram que as tecnologias capacitadoras da Indústria 4.0 devem ser entendidas como estruturas dinâmicas, em constante adaptação, refletindo não só os avanços tecnológicos, mas também os desafios sociais, ambientais e humanos associados à digitalização dos sistemas industriais. A transformação digital da Indústria 4.0 é suportada por um conjunto de tecnologias habilitadoras, incluindo *Big Data*, Internet das Coisas, sistemas ciberfísicos, computação em nuvem, robótica, fabrico aditivo, inteligência artificial, realidade aumentada, simulação, cibersegurança e *blockchain*. Estas tecnologias sustentam as seis dimensões estruturantes da Indústria 4.0, viabilizando processos produtivos mais conectados, flexíveis, resilientes e sustentáveis.

De seguida, descrevem-se as principais tecnologias capacitadoras essenciais para a compreensão das dimensões da Indústria 4.0.

Big Data & Analytics referem-se à aplicação de tecnologias e algoritmos avançados para processar grandes volumes de dados recolhidos por sensores e sistemas industriais. Esta tecnologia permite diagnosticar o desempenho atual, prever falhas, otimizar processos e apoiar decisões em tempo real. Ao combinar análise preditiva, inteligência artificial e aprendizagem automática, o *Big Data* transforma dados brutos em informações estratégicas, tornando-se essencial para a eficiência operacional e a competitividade das organizações (Cui *et al.*, 2020; N. Khan *et al.*, 2014; Manyika *et al.*, 2021).

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que integra elementos virtuais no ambiente físico, melhorando a interação entre humanos e máquinas. Através de sensores, câmaras e dispositivos móveis, a RA fornece informações em tempo real, sendo especialmente útil em atividades como design, formação e manutenção (Gualtieri *et al.*, 2018). O seu potencial de expansão está associado à integração com outras tecnologias da Indústria 4.0, como a operação remota e a inteligência artificial. Enquanto a RA sobrepõe o virtual ao real, a realidade virtual oferece uma imersão completa em ambientes digitais (Akpan & Offodile, 2024).

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que permite a comunicação em tempo real entre sistemas produtivos e os seus controladores. Ao conectar objetos físicos à rede de produção, a IoT viabiliza operações inteligentes, com recolha e análise imediata de dados, aumentando a eficiência e a capacidade de resposta dos sistemas industriais (Gubbi *et al.*, 2013).

Os robôs autónomos estão a transformar o ambiente industrial ao assumirem tarefas que exigem elevada precisão ou apresentam riscos para os operadores humanos. Inicialmente controlados remotamente, estes robôs evoluíram para sistemas cada vez mais autónomos, cooperativos e inteligentes, graças aos avanços em inteligência artificial e aprendizagem automática. A sua implementação permite uma interação segura com humanos, otimiza processos e reforça a segurança e a inovação no local de trabalho (Dzedzickis *et al.*, 2022; Wasim, 2023).

A simulação digital, frequentemente implementada através de gémeos digitais, permite replicar virtualmente os processos produtivos com base em dados reais, abrangendo equipamentos, produtos e operadores. Esta tecnologia facilita a monitorização, a otimização e a reconfiguração rápida dos processos, aumentando a produtividade e reduzindo perdas. Ao permitir a testagem segura de cenários e ajustes, contribui para uma tomada de decisão baseada em dados e para uma produção mais eficiente e sustentável (de Paula Ferreira *et al.*, 2020).

A computação em nuvem oferece uma plataforma escalável e flexível para armazenar, processar e analisar grandes volumes de dados gerados por sistemas industriais e dispositivos IoT. Permite a gestão segura e acessível da informação, o uso de ferramentas de análise avançada e *machine learning*, bem como o controlo remoto de equipamentos, o que é especialmente vantajoso em operações distribuídas (Y. Liu & Xu, 2016; Sarkar, 2023).

O fabrico aditivo, frequentemente associado à impressão 3D — embora os termos não sejam sinónimos —, consiste na criação de objetos através da deposição sucessiva de camadas de material. Esta tecnologia permite fabricar peças com geometrias complexas e elevado grau de personalização. De grande flexibilidade, é amplamente utilizada em prototipagem, na produção de moldes e em pequenos lotes. Entre os seus benefícios destacam-se a redução de custos logísticos, o encurtamento do tempo de lançamento de novos produtos e o estímulo à inovação. Adicionalmente, favorece a co-criação ao permitir que os consumidores participem ativamente no design e na produção dos seus próprios produtos (Iftekar *et al.*, 2023).

A cibersegurança é um elemento transversal e essencial nos processos de digitalização, dada a crescente exposição das infraestruturas digitais a ameaças cibernéticas. A elevada conectividade torna os sistemas industriais mais vulneráveis, exigindo soluções robustas para proteger dados, equipamentos e operações (Cho & Woo, 2017). A adoção de *frameworks* de segurança, *firewalls*, *blockchain* e criptografia avançada é fundamental para garantir a integridade, o controlo de acessos e a continuidade operacional num ambiente digital cada vez mais interligado (Babbar & Bhushan, 2020; Khalid *et al.*, 2020).

Associada às *fintech*, o *blockchain* é uma tecnologia descentralizada com grande potencial para fortalecer a Indústria 4.0, especialmente no que diz respeito à segurança, rastreabilidade e automação. A sua aplicação permite criar registos de transações imutáveis e confiáveis, fundamentais para a segurança de dados e a privacidade em ambientes digitais altamente conectados (Bodkhe *et al.*, 2020; Honcharova, 2020). Além disso, o *blockchain* melhora a transparência e o rastreamento ao longo da cadeia de valor, especialmente quando integrado à IoT. Através dos contratos inteligentes, pode também automatizar processos e reduzir intermediários, aumentando a eficiência operacional (Colombo *et al.*, 2021; Tyagi *et al.*, 2023).

A inteligência artificial (IA) e o *machine learning* (ML) são tecnologias essenciais na Indústria 4.0, promovendo a automação, a eficiência operacional e a tomada de decisão inteligente. Estas ferramentas permitem analisar grandes volumes de dados, implementar manutenção preditiva, otimizar processos produtivos e melhorar a interação homem-máquina (Çınar *et al.*, 2020; Macedo *et al.*, 2020; Peres *et al.*, 2020). A evolução da IA e do ML está fortemente ligada à sua articulação com outras tecnologias da Indústria 4.0, como gémeos digitais, robótica e logística inteligente (Huang *et al.*, 2021; Woschank *et al.*, 2020), exigindo mudanças estruturais e culturais nas organizações para garantir uma implementação eficaz e sustentável (Cioffi *et al.*, 2020; Serey *et al.*, 2023).

As redes de comunicação são infraestruturas essenciais para a Indústria 4.0, permitindo conectividade em tempo real, automação inteligente e recolha contínua de dados. Tecnologias como o 5G facilitam a operação remota de sistemas industriais e a integração com plataformas de computação na nuvem (Javaid *et al.*, 2022; Rodriguez *et al.*, 2021; Taleb *et al.*, 2019). Paralelamente, redes sem fios industriais (IWNs) e arquiteturas híbridas, que combinam redes públicas e privadas, respondem às exigências de flexibilidade e fiabilidade em ambientes industriais (Guimarães *et al.*, 2021; X. Li *et al.*, 2015). Em contextos periféricos e insulares, como os Açores, destacam-se as soluções

baseadas em LPWAN, que oferecem comunicações de baixo custo e baixo consumo energético com grande alcance. Os testes realizados por Pinelo *et al.*, (2023) demonstram que é possível obter comunicações marítimas com distâncias superiores a 130 km, mesmo em condições de visibilidade limitada, reforçando a aplicabilidade desta tecnologia em setores como a pesca, o turismo ou o controlo ambiental.

2.2.2 Impactos e desafios na implementação da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 caracteriza-se pela expectativa de avanços substanciais em eficiência operacional, produtividade e competitividade, ao mesmo tempo que promete impulsionar o desenvolvimento de novos modelos de negócio e a introdução de produtos e serviços inovadores (Rüßmann *et al.*, 2015). No entanto, a sua implementação está sujeita a múltiplos desafios, tanto tecnológicos como organizacionais, que influenciam diretamente a forma como as organizações encaram esta transição.

A implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 exige a adoção de várias formas de integração, essenciais para maximizar a eficiência e a inovação. A integração vertical é crucial, ocorrendo internamente e ao longo do ciclo de design do produto, facilitando a comunicação entre os diferentes níveis organizacionais. A integração horizontal, por sua vez, estende-se por toda a cadeia de valor, promovendo a coordenação entre fornecedores, distribuidores e clientes. Adicionalmente, a integração digital permite incorporar tecnologias avançadas ao longo do ciclo de vida do produto, otimizando o uso de dados e potenciando a transformação digital, enquanto eixo estratégico de desenvolvimento organizacional (Camarinha-Matos *et al.*, 2024; Ekionea *et al.*, 2024; *Horizontal and Vertical Integration in Industry 4.0*, 2019; W. Li *et al.*, 2016; Rüßmann *et al.*, 2015).

Um estudo conduzido pelo Centre for Strategy & Evaluation Services LLP, (*Industry 4.0 | Think Tank | Parlamento Europeu*, 2016) destacou diversos requisitos críticos para a implementação da Indústria 4.0, como a padronização dos sistemas TIC, a adaptação organizacional aos novos modelos de negócio, a segurança digital, a proteção da propriedade intelectual, a disponibilidade de mão-de-obra especializada, e o investimento em inovação e desenvolvimento. Estes fatores remetem, diretamente, para construtos como o grau de implementação das tecnologias, prontidão organizacional e limitações percebidas.

Os impactos da Indústria 4.0 podem ser tanto positivos quanto negativos. Os efeitos positivos incluem o surgimento de novos negócios e profissões, bem como o reforço da informatização e da servitização dos produtos, promovendo uma economia mais centrada

no conhecimento (Rüßmann *et al.*, 2015). Por outro lado, impactos negativos como a concentração de riqueza, o aumento do desemprego em regiões menos tecnológicas e a exclusão digital, especialmente em países em desenvolvimento, constituem preocupações significativas (Freire, 2021). Este desequilíbrio reforça a importância de medir as expectativas das organizações quanto aos impactos futuros da Indústria 4.0, incluindo benefícios esperados, receios e limitações percebidas.

2.2.3 Programas de aceleração da Indústria 4.0 na União Europeia e em Portugal

A União Europeia reconhece a digitalização como fator essencial para a competitividade e sustentabilidade industriais, promovendo a integração de tecnologias da Indústria 4.0 como IoT, IA e computação em nuvem. Os Estados-Membros desenvolveram estratégias nacionais adaptadas aos seus contextos, com destaque para a promoção da inovação e o apoio às regiões menos desenvolvidas (Muscio & Ciffolilli, 2020; Teixeira & Tavares-Lehmann, 2022). No entanto, a fragmentação de soluções e as dificuldades das PME's continuam a ser desafios significativos (Dyba *et al.*, 2022). A integração das Estratégias de Especialização Inteligente (RIS3) com iniciativas da Indústria 4.0, por via de abordagens colaborativas multissetoriais, é vista como essencial para garantir coesão regional, inclusão digital e desenvolvimento equilibrado em todo o espaço europeu (Barzotto *et al.*, 2020; Lepore & Spigarelli, 2020)

O Anexo 1 apresenta um resumo comparativo das políticas nacionais para a implementação da Indústria 4.0 no contexto europeu, evidenciando abordagens adaptadas aos diferentes níveis de desenvolvimento.

Indo para o campo nacional, Portugal continua a enfrentar desafios estruturais, incluindo a necessidade de políticas públicas eficazes que incentivem a digitalização nos setores agrícola e industrial (De Jesus & Lima, 2021; Faria *et al.*, 2021). A estratégia nacional Portugal i4.0 insere-se no quadro europeu de digitalização da indústria, visando reforçar a competitividade e a modernização do tecido industrial através de seis eixos de atuação prioritária: a qualificação do capital humano, a cooperação tecnológica, o apoio a *startup's*, o financiamento ao investimento, a internacionalização e a regulação legislativa (Rita & Silva, 2023; Teixeira & Tavares-Lehmann, 2022).

A adoção do programa tem-se intensificado, com empresas a utilizarem estas tecnologias para melhorar processos e aumentar a competitividade (Alcácer *et al.*, 2021; Pereira, 2021). Contudo, a implementação enfrenta desafios como a necessidade de

investimentos significativos, a resistência à mudança organizacional e a ausência de uma visão integrada do conceito por parte de muitas empresas (Pereira, 2021).

As PMEs, em particular, sentem dificuldades relacionadas com os seus recursos limitados e competências técnicas, embora algumas tenham conseguido superar essas barreiras através de desenvolvimento interno ou da aquisição externa de capacidades (Santos *et al.*, 2017). Os benefícios da Indústria 4.0 incluem ganhos de produtividade, redução de erros e maior eficiência operacional, o que tem fortalecido a competitividade das empresas no mercado global (Pereira, 2021; Rita & Silva, 2023). Paralelamente, o país tem alinhado as suas políticas com as diretrizes da União Europeia, utilizando subsídios e incentivos para fomentar a adoção tecnológica (Rita & Silva, 2023; Yang & Gu, 2021), embora persistam desafios na adaptação dos modelos de negócio (De Jesus & Lima, 2021).

Nos setores económicos primários, a Indústria 4.0, também, tem tido impacto. Na agricultura, surge o conceito de Agricultura 4.0, que integra tecnologias como IoT e Big Data para otimização de recursos e práticas sustentáveis (Y. Liu *et al.*, 2020; Tjhin & Riantini, 2022), não obstante, as PMEs enfrentarem barreiras à sua adoção (Zambon *et al.*, 2019). De facto, no setor dos laticínios, a digitalização melhora o controlo de qualidade e a logística, embora requeira investimentos e requalificação dos trabalhadores (Baierle *et al.*, 2022; Faria *et al.*, 2021). Na pesca, a digitalização tem vindo a apoiar a rastreabilidade e sustentabilidade, através de sensores e sistemas de monitorização, embora a adoção ainda seja limitada e enfrente desafios semelhantes aos da agricultura (De Jesus & Lima, 2021; Pereira, 2021).

2.2.4 Caracterização estrutural e evolução dos setores primários

Desde o povoamento inicial até ao final do século XX, a economia dos Açores desenvolveu-se com base numa matriz agrícola fortemente dependente dos mercados externos. A história económica do arquipélago foi marcada por ciclos de culturas, como o trigo, a laranja e o ananás, que sofreram crises periódicas resultantes de fatores naturais, da concorrência internacional e de fragilidades estruturais. A fraca industrialização, aliada à escassa articulação regional, limitou a diversificação económica, agravada por uma estrutura agrária dominada por pequenas explorações pouco capitalizadas e resistentes à inovação. A emigração tornou-se, ao longo do tempo, uma resposta recorrente às dificuldades económicas e demográficas, funcionando como válvula de escape num

território periférico, marcado pela especialização excessiva na bovinicultura e pelos desafios de um mercado interno reduzido e em envelhecimento (João, 1992).

A chamada revolução verde trouxe ganhos de produtividade com o uso de sementes melhoradas e tecnologias agrícolas, embora persistam desafios para aumentar a competitividade da região (E. Silva *et al.*, 2017). Contudo, entraves logísticos, como o custo elevado de transporte para o exterior, e limitações geográficas e climáticas, que afetam a segurança alimentar, continuam a exigir atenção (De Almeida *et al.*, 2020; Freiheit & Leão, 2022).

O setor agroalimentar, em especial a fileira do leite, destaca-se como motor da economia regional, produzindo 1/3 do leite do país, bem como cerca de 50% do total do queijo, beneficiando de políticas públicas e avanços tecnológicos (De Almeida *et al.*, 2020; E. Silva *et al.*, 2017; RIS3 Açores, 2022).

A inovação e a Indústria 4.0 na agricultura e na agroindústria são pressupostos da RIS3 Açores que propõe diversas linhas de ação para enfrentar esses desafios, com destaque para a transformação digital, para a agricultura de precisão e para a intensificação tecnológica, como a ciência dos dados (RIS3 Açores, 2022). A literatura aponta para a utilização de sensores IoT, sistemas de agricultura de precisão, e tecnologias como *Big Data*, gémeos digitais e inteligência artificial como meios para aumentar a produtividade e a sustentabilidade (Echegaray *et al.*, 2022; W. Xu *et al.*, 2023).

Na indústria da carne, diversas tecnologias, como robótica, realidade aumentada e *blockchain*, podem ser aplicadas para aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e garantir rastreabilidade e segurança alimentar. A pandemia de COVID-19 acelerou, inclusivamente, a automação no processamento da carne, destacando o papel da tecnologia na continuidade operacional e na proteção da saúde pública (Echegaray *et al.*, 2022).

A economia do mar representa um dos pilares estratégicos da região. O setor das pescas, embora dominado por práticas artesanais e seletivas, é responsável por mais de 13% do valor nacional das pescas e por 20% das exportações regionais (RIS3 Açores, 2022). Contudo, enfrenta limitações como a escassez de zonas de pesca, a instabilidade dos mercados e dificuldades na cadeia de comercialização.

Com base na RIS3 Açores, a valorização da economia azul exige o reforço da inovação em áreas como a biotecnologia marinha, a aquacultura de espécies de elevado valor económico e a modernização da indústria conserveira. Paralelamente, a introdução de tecnologias i4.0 — como sistemas inteligentes de logística, ordenamento do espaço

marítimo, monitorização ambiental com base em satélites e IoT — é considerada essencial para a sustentabilidade do setor (Pinelo et al., 2023; RIS3 Açores, 2022). Os centros de I&D, como o Okeanos (Universidade dos Açores) ou o AIR Centre, têm assumido um papel de liderança na investigação científica.

Este contexto de transformação económica e tecnológica nos setores estratégicos açorianos prepara o terreno para as iniciativas-piloto que se seguem, as quais ilustram a adaptação das tecnologias da Indústria 4.0 às particularidades insulares e aos desafios da sustentabilidade.

2.2.5 Iniciativas-piloto nos Açores

As iniciativas-piloto têm desempenhado um papel crucial na preparação para a modernização dos setores estratégicos dos Açores, ao permitir testarem e adaptar inovações tecnológicas em contexto real. Estes projetos, alinhados com os princípios da RIS3 Açores (2022), ajudam a superar o limbo tecnológico (De Propriis & Bailey, 2020), reduzindo incertezas e facilitando a difusão de inovações disruptivas (Christensen, 1997; Rogers, 1983). Assim, contribuem para impulsionar a transição digital e ecológica nos setores agrícola, agroindustrial e marítimo da região.

A literatura sublinha a importância destas abordagens em contextos periféricos e insulares, destacando a sua incumbência na difusão de inovações (Christensen, 1997; De Propriis & Bailey, 2020; Rogers, 1983) e no estímulo ao investimento público (Mazzucato, 2014), visto que muitas das inovações radicais da atualidade tiveram origem em investimento público audacioso e em estratégias visionárias por parte das entidades governamentais.

As Zonas Livres Tecnológicas (ZLTs) assumem-se como áreas de experimentação tecnológica, com destaque para a economia azul e os sistemas robóticos avançados (Agência Nacional de Inovação - ZLT, 2023). A rede IoT, baseada em tecnologia LoRaWAN, iniciada pelo Município de Angra do Heroísmo, tem sido aplicada na agricultura de precisão, na monitorização ambiental e na gestão de recursos marinhos, alargando o alcance regional da investigação científica, visto que a mesma serve de apoio a iniciativas e projetos do Terinov e do AIR Centre (Liang et al., 2019; Pinelo et al., 2023; Wolfert et al., 2017).

Iniciativas como o Sistema de Alerta *Pithomyces Chartarum*, desenvolvido pela UNICOL, TERINOV e AIR Centre, permitem antecipar surtos fúngicos prejudiciais ao gado, através da recolha de dados em tempo real (Ávila et al., 2024). A iniciativa “Vinhas

da Terceira”, liderada pela SFCOLAB, AIR Centre, TERINOV e CMAH, aplica sensores meteorológicos para apoiar a viticultura sustentável (Vinhas da Terceira – A digital platform to support decision-making on agricultural management practices of vineyards in Azores, 2024).

Outros projetos incluem a digitalização da PROLACTO, o sistema UAVision no Faial para vigilância marítima, e iniciativas como o Custodian e o Azores EcoBLUE, que visam reforçar a rastreabilidade, a segurança e a sustentabilidade nos setores agrícola e marinho (Custodian - A Tracking System for More Sustainable Fishing, 2022; Echegaray *et al.*, 2022; Pinelo *et al.*, 2023).

2.2.6 Indústria 4.0 e os objetivos de desenvolvimento sustentável

A convergência entre Indústria 4.0 e sustentabilidade representa uma oportunidade estratégica para os Açores. O conceito de desenvolvimento sustentável, formalizado no Relatório (Brundtland, 1987) e operacionalizado pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Nations Unies, 2015), exige a integração de dimensões de foro ambiental, social e económica.

A Indústria 4.0 contribui para este modelo através da digitalização, da automação e da conectividade inteligente. As suas tecnologias capacitadoras permitem otimizar o uso de recursos, reduzir o desperdício e aumentar a rastreabilidade dos produtos (Camarinha-Matos *et al.*, 2024, p. 510; Chapron, 2017; Soori *et al.*, 2024; Tsolakis *et al.*, 2021). Na região, estas inovações são particularmente relevantes face aos desafios logísticos e à fragilidade das cadeias de abastecimento.

A gestão energética inteligente, com recurso a energias renováveis, já apresenta resultados visíveis na Ilha Graciosa, onde a microrrede híbrida reduziu significativamente a dependência de combustíveis fósseis (Nogueira *et al.*, 2024; D. C. Silva *et al.*, 2020). A transição energética nas ilhas revela-se viável, embora limitada pela capacidade de armazenamento e pela dificuldade de interligação energética na realidade geográfica arquipelágica (Partilha de energia entre ilhas ainda é muito difícil, 2023; Quirk *et al.*, 2024).

Em termos de transparência e economia circular, a blockchain tem sido aplicada para garantir a autenticidade e rastreabilidade de produtos agrícolas e marinhos — com experiências bem-sucedidas na rastreabilidade do atum (Chaudhuri, 2016; Cook, 2018; Visser & Hanich, 2016). Por outro lado, tecnologias como o fabrico aditivo e o acondicionamento permitem prolongar o ciclo de vida dos produtos e mitigar os

impactos do isolamento geográfico (Soori *et al.*, 2024). A adoção de modelos circulares e simbioses industriais é, também, crucial para reduzir resíduos e otimizar recursos.

A integração dos princípios ESG nas empresas portuguesas, e consequentemente nas açorianas, é cada vez mais exigida, tanto por regulamentação legislativa, como pela pressão de consumidores, fornecedores e investidores (Cruz & Brás, 2024; *IAPMEI - Alinhamento do negócio com fatores ESG*, 2024). Esta mudança representa uma oportunidade para reposicionar as organizações regionais como agentes ativos no desenvolvimento sustentável. No contexto açoriano, a transição para um modelo de desenvolvimento sustentável depende da articulação entre digitalização, inovação social e políticas públicas. A Indústria 4.0 deve ser encarada como instrumento para esse fim, exigindo colaboração multissetorial, requalificação de trabalhadores e fortalecimento das cadeias de abastecimento (Kotler *et al.*, 2021; Martins, 2022; Soori *et al.*, 2024). Como refere Martins (2024), esta transformação só será efetiva se ancorada numa compreensão profunda dos sistemas produtivos e na adoção de formas de planeamento democrático e territorialmente enraizadas.

2.2.7 Modelos de maturidade

Os modelos de maturidade são ferramentas fundamentais para avaliar o estado atual das organizações face à digitalização e para orientar a sua transformação estratégica. Estes modelos estruturam o percurso de evolução digital através de estágios progressivos, permitindo identificar lacunas tecnológicas, organizacionais e culturais.

Em Portugal, várias iniciativas — como o i4.0 Scoreboard, da COTEC ou o modelo SHIFTO4.0, do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ) — têm procurado aferir o grau de maturidade das empresas, revelando um panorama de implementação ainda incipiente, sobretudo nas pequenas e médias empresas (Coelho, 2022, pp. 15–20; Da Fonseca *et al.*, 2024, p. 204; Modelo de Avaliação de Maturidade Indústria 4.0-i4.0 Scoreboard, 2020, pp. 10–13; Pereira, 2021, pp. 21–27).

A literatura tem contribuído para o desenvolvimento de múltiplos modelos, como o *I4.0MM* de Schumacher *et al.*, (2016), o modelo IMPULS de Lichtblau *et al.*, (2015) e o *Industrie 4.0 Maturity Index* da ACATECH (Schuh *et al.*, 2017), amplamente analisados por Pereira (2021). Estes modelos diferenciam-se pelo número de dimensões e estágios de maturidade, mas convergem na ideia de que a transformação digital vai além da tecnologia, integrando fatores como cultura organizacional, liderança e competências dos trabalhadores (Coelho, 2022, pp. 16–24; Pereira, 2021, pp. 23–26).

No contexto desta investigação, optou-se por seguir a abordagem proposta na literatura sobre modelos de maturidade digital, reconhecida pela sua utilidade na avaliação do estado atual das organizações e na definição de trajetórias, com vista à transformação digital. Estes modelos foram o arcabouço dos construtos que deram suporte à investigação. A sua estrutura em dimensões e estágios permitiu adaptar escalas de Likert compatíveis com a realidade organizacional açoriana, introduzindo-se ajustamentos específicos face às características das empresas regionais e às particularidades do mercado local, como a dispersão geográfica e a localização. Esta abordagem metodológica possibilitou uma análise comparativa entre organizações de diferentes setores e dimensões, alinhando-se com os objetivos do estudo e reforçando a validade e a coerência internas do modelo de investigação adotado.

Em coerência com esta abordagem, a transformação digital é amplamente reconhecida como um fator crítico para a competitividade organizacional, exigindo alterações estruturais na estratégia, nos modelos de negócio e na cultura de trabalho. Mais do que o simples acesso à tecnologia, trata-se da sua aplicação tática para promover inovação, criar valor e responder de forma ágil às exigências do mercado (Saarikko *et al.*, 2020, p. 826). Este processo começa com a perceção da sua relevância, influenciando o grau de envolvimento da liderança, a mobilização de recursos e o alinhamento interno das equipas. A liderança desempenha, assim, um papel fundamental na definição da visão digital, na comunicação clara dos objetivos e na gestão das dinâmicas humanas associadas à mudança (Vial, 2019, p. 121; Weber *et al.*, 2022, pp. 226–227).

Neste contexto, o grau de maturidade digital, refletido na infraestrutura tecnológica, nos ativos digitais e na agilidade organizacional, constitui a base para avaliar a prontidão para a transformação (Verhoef *et al.*, 2021, p. 892). A prontidão digital está, também, condicionada por fatores humanos e culturais, incluindo a literacia digital, a liderança e a visão institucional (Michelotto & Joia, 2024, pp. 3288–3289; Sousa & Rocha, 2019, p. 328).

Decorrentemente, a liderança desempenha um papel decisivo na integração da digitalização na estratégia organizacional, influenciando diretamente o envolvimento das equipas e a adoção tecnológica. A literatura destaca a importância de líderes transformacionais e ágeis, capazes de mobilizar pessoas, de comunicar uma visão clara e de promover ambientes colaborativos e orientados para a aprendizagem contínua. Estes líderes não apenas facilitam a aceitação da mudança, como asseguram o alinhamento entre estratégia, cultura e capacidades digitais, criando as condições para uma

transformação digital bem-sucedida (Bunjak *et al.*, 2022, p. 3; Rialti & Filieri, 2024, p. 441; Sacavém *et al.*, 2025, p. 2; Schiuma *et al.*, 2024, pp. 426–427).

Neste quadro, a implementação das tecnologias associadas à Indústria 4.0 constitui um dos eixos centrais da transformação digital. A literatura destaca múltiplos benefícios, como o aumento da eficiência operacional, o reforço da inovação e o apoio à sustentabilidade, especialmente no contexto da economia circular (Jankowska *et al.*, 2023, p. 1032; L. Liu *et al.*, 2023, p. 2). Contudo, persistem barreiras significativas, sobretudo para as pequenas e médias empresas, entre as quais se destacam os elevados custos de investimento, a escassez de competências técnicas e as preocupações com a cibersegurança (Rodríguez-Espíndola *et al.*, 2022, pp. 3–4; Tortorella *et al.*, 2020, p. 290). Segundo Jankowska *et al.* (2023, p. 1038), “as barreiras mais importantes foram os processos administrativos e os encargos de capital associados à implementação de soluções da Indústria 4.0”, sublinhando a necessidade de políticas públicas e estratégias de capacitação para viabilizar esta transição tecnológica.

Para além das contendas técnicas da digitalização, as regiões ultraperiféricas são frequentemente caracterizadas por isolamento geográfico e enfrentam desafios na promoção da inovação, a dispersão territorial, os custos logísticos e a ausência de interligações energéticas dificultam a integração tecnológica (Gomes *et al.*, 2025, p. 13; Lopes *et al.*, 2025).

Ainda assim, estas limitações coexistem com oportunidades, nomeadamente o acesso a incentivos públicos e o potencial para energias renováveis, permitindo soluções sustentáveis e autónomas (Gomes *et al.*, 2025, pp. 5–6; I. Melo & Torres, 2019, p. 2). Tal como defendem Porter & Stern (2001), o ambiente local influencia, significativamente, a capacidade de inovação, sendo essencial que empresas e políticas públicas o reforcem estrategicamente: "A localização importa para a inovação [...] e as empresas devem, proactivamente, reforçar o ambiente de inovação nos locais onde operam."

Neste sentido, estudos recentes indicam que os parques de ciência e tecnologia podem desempenhar um papel importante na dinamização da inovação nas regiões ultraperiféricas, desde que apoiados por políticas consistentes e investimento em I&D. Nas regiões como a dos Açores, a existência desses parques torna-se mais fácil quando há articulação entre governo, academia e empresas, compensando limitações estruturais e potenciando os recursos locais (Lopes *et al.*, 2025).

A incorporação da sustentabilidade e da responsabilidade social nas estratégias digitais é cada vez mais valorizada pelas partes interessadas. Através do conceito de CSR

4.0, as organizações alinham inovação e impacto social, promovendo práticas sustentáveis e ajustadas com os ODS (Ardiansyah & Alnoor, 2024, pp. 2103–2104; Asiaei *et al.*, 2021, pp. 85–87; Govindan, 2022, p. 2104,2107; Lu *et al.*, 2020, pp. 1–2).

A interação com o ecossistema local e regional constitui um fator estratégico para a promoção da inovação. A colaboração entre universidades, empresas e entidades públicas potencia o desenvolvimento de capacidades empreendedoras, embora nem sempre se traduza em parcerias profundas (Liou & Daly, 2020; Schiuma & Carlucci, 2018, p. 158). Em regiões periféricas como os Açores, o “capital relacional”, a confiança e o apoio institucional assumem um papel determinante (Flögel *et al.*, 2025, pp. 127–129, 132–136). Estes autores destacam que, para além da criação de *startup*'s, os ecossistemas empreendedores contribuem para qualificar recursos humanos, melhorar a imagem regional e fortalecer a cooperação intermunicipal e intersectorial. Segundo Knox & Arshed (2021, pp. 1162–1166), a eficácia dessas interações depende de uma governação em rede que articule múltiplos atores de forma coordenada e alinhada, de forma a melhorar a eficácia de programas regionais de apoio ao empreendedorismo.

Importa, ainda, salientar que a Região Autónoma dos Açores apresenta um dos rácios mais baixos do país (0,05%) entre a despesa em desenvolvimento e o volume de negócios das empresas industriais com menos de 250 trabalhadores, posicionando-se como uma das regiões com menor intensidade de investimento em desenvolvimento no setor das indústrias transformadoras (INE, 2024b).

Por fim, a perceção das organizações face aos impactos futuros da Indústria 4.0 revela a sua capacidade de antecipar tendências e de adaptar-se estrategicamente. Tecnologias como a inteligência artificial (IA) e a Internet das Coisas (IoT) são amplamente reconhecidas pelo seu potencial para melhorar a eficiência, otimizar processos e reforçar práticas sustentáveis (Mithas *et al.*, 2022, p. 2; Naeem *et al.*, 2024, p. 1).

No entanto, permanecem desafios significativos, sobretudo nas pequenas e médias empresas. Como mostram Tamvada *et al.* (2022), os riscos mais críticos para a adoção da Indústria 4.0 em economias emergentes incluem o investimento inicial elevado, a falta de qualificação dos trabalhadores e a complexidade na integração tecnológica.

CAPÍTULO III – MÉTODO

Neste capítulo explica-se o objetivo central do estudo e as questões de investigação que o orientam. São, igualmente, apresentados os instrumentos utilizados para a recolha de dados, a definição da população-alvo e a caracterização da amostra selecionada. Por fim, descrevem-se as técnicas adotadas para a análise dos dados, bem como os principais traços sociodemográficos dos participantes inquiridos.

3.1 Propósito do estudo e questões de investigação

O propósito geral desta investigação é analisar o estado da arte da digitalização da indústria, no âmbito da Quarta Revolução Industrial — designada como Indústria 4.0 — na Região Autónoma dos Açores e a sua relação com a sustentabilidade. A investigação foca-se, em particular, nos setores estratégicos definidos pela Estratégia de Especialização Inteligente dos Açores (RIS3), nomeadamente Agricultura, Agroindústria, Mar e Crescimento Azul. A investigação foi aprovada pela Comissão de Ética da Universidade dos Açores — Parecer 29/2024.

Pretende-se, por um lado, compreender em que medida estes setores têm vindo a adotar tecnologias e práticas associadas à Indústria 4.0 e, por outro, avaliar se esta transição digital é acompanhada por uma efetiva preocupação com a sustentabilidade.

A investigação adotou um método de abordagem misto. A abordagem quantitativa, através de um inquérito por questionário, foi aplicada a diferentes categorias de colaboradores das organizações, desde cargos de gestão de topo, até funções operacionais. Complementarmente, o estudo procurou integrar a perspetiva de empresas e organizações que prestam apoio técnico, tecnológico e logístico — consideradas peças-chave na viabilização e consolidação dos processos inerentes à Indústria 4.0.

Como será detalhado nos pontos seguintes, recorreu-se ao teste de Kruskal-Wallis para testar um total de 36 hipóteses, resultantes da combinação de 12 construtos, com três variáveis independentes: segmento de mercado, dimensão da empresa e tempo de atividade da organização. Importa referir que, numa fase inicial, foi formulado um conjunto de questões de investigação para cada um dos construtos previamente descritos, desde a Consciência e Perceção sobre a Transformação Digital (CPTD até às Tecnologias Emergentes (TE). O objetivo foi identificar eventuais diferenças estatisticamente significativas em função das três variáveis referidas.

Foram, assim, elaboradas as seguintes questões de investigação:

- H1: A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital (CPTD) tem efeito /impacto significativo na Prontidão da sua organização para implementar mudanças digitais significativas (PMDS);
- H2: A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital (CPTD) tem impacto significativo no Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança (AVEL).
- H3: O Alinhamento e a Visão Estratégica da Liderança (AVEL) têm impacto significativo na Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social (ISRS).
- H4: O Alinhamento e a Visão Estratégica da Liderança (AVEL) têm impacto significativo na Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0 na organização (ST).
- H5: A Prontidão para implementar mudanças digitais significativas (PMDS) tem impacto significativo na Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa (ISRS).
- H6: A Prontidão para implementar mudanças digitais significativas (PMDS) tem impacto significativo na Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0 na organização (ST).
- H7: A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital (CPTD) tem impacto significativo na Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0 na organização (ST).
- H8: O Alinhamento e a Visão Estratégica da Liderança (AVEL) medeia a relação entre a Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital (CPTD) e a Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa (ISRS).
- H9: O Alinhamento e a Visão Estratégica da Liderança (AVEL) medeia a relação entre a Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital (CPTD) e a Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0 na organização (ST).
- H10: A Prontidão para implementar mudanças digitais significativas (PMDS) medeia a relação entre a Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital (CPTD) e a Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa (ISRS).

- H11: A Prontidão para implementar mudanças digitais significativas (PMDS) medeia a relação entre a Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital (CPTD) e a Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0 na organização (ST).

Paralelamente à análise quantitativa, foi desenvolvida uma investigação qualitativa, com base em entrevistas estruturadas em torno de cinco eixos temáticos: Transformação Digital, Liderança e Cultura Organizacional, Sustentabilidade e Responsabilidade Social, Interação com o Ecossistema, e Apoios Públicos (PO Açores 2020 e PRR). A abordagem visou responder à questão central: *Como estão as organizações dos setores em estudo a encarar a transformação digital e a integração da sustentabilidade, no contexto dos apoios públicos disponíveis?*

Para captar diferentes realidades, as entrevistas foram segmentadas em dois grupos: o Grupo A, composto por empresas e associações comerciais, e o Grupo B, constituído por entidades de I&D e apoio à inovação tecnológica. As questões procuraram compreender o grau de maturidade digital, os principais desafios enfrentados, o papel da liderança no processo de transformação, a integração de práticas ESG, o nível de interação entre os setores, e a percepção sobre a eficácia dos apoios públicos.

A estrutura da entrevista permitiu captar uma diversidade de perspetivas, revelando os constrangimentos e potencialidades existentes nos setores estratégicos da região, bem como avaliar o impacto dos fundos europeus na aceleração da inovação, da digitalização e da sustentabilidade. As entrevistas decorreram entre os meses de junho de 2024 e janeiro de 2025.

3.2 Instrumentos de recolha de dados

Os instrumentos de recolha de dados utilizados neste estudo foram o inquérito por questionário e a entrevista, escolhidos de forma a garantir o cumprimento do objetivo geral da investigação e a obtenção de respostas às questões de investigação definidas. O questionário, que pode ser observado no Anexo 2, foi desenvolvido com recurso à plataforma Microsoft Forms e estruturado em nove secções. Os inquéritos decorreram entre os meses de junho de 2024 e fevereiro de 2025.

O questionário foi estruturado em nove secções, iniciando-se com a caracterização sociodemográfica e organizacional dos participantes, incluindo setor de atividade, dimensão, localização e função do inquirido. Seguiu-se a avaliação da percepção estratégica da transformação digital, abordando o envolvimento da liderança, o ritmo de implementação e a abertura à inovação. A terceira secção analisou o ponto de partida

digital das organizações, os seus ativos estratégicos, a motivação para a mudança e a prontidão digital, incluindo níveis de investimento em tecnologias da Indústria 4.0.

A quarta secção examinou o alinhamento e a visão estratégica da liderança, com foco na coesão, comunicação e capacidade de impulsionar mudanças. A quinta centrou-se no grau de implementação e conhecimento das tecnologias da Indústria 4.0, bem como nos obstáculos enfrentados. A sexta analisou o impacto da localização geográfica, com especial enfoque nas especificidades dos Açores. Na sétima secção, foi avaliada a integração da sustentabilidade e da responsabilidade social, incluindo a adoção de práticas ESG e o seu impacto estratégico.

A oitava secção explorou o nível de interação com o ecossistema local e regional, destacando parcerias com universidades, empresas e entidades públicas. Por fim, a nona abordou as expectativas quanto aos impactos futuros da Indústria 4.0, incluindo benefícios esperados e a relevância atribuída a tecnologias emergentes como IA, IoT, blockchain e biotecnologia.

3.3 Técnicas estatísticas

No seguimento da recolha dos dados através de um inquérito, foi efetuada uma análise preliminar e exploratória da base de dados, com o objetivo de validar os registos e assegurar a integridade dos mesmos. Esta fase incluiu a verificação da existência de valores atípicos (*outliers*), bem como a deteção de eventuais incoerências que pudessem comprometer a robustez dos resultados.

As análises estatísticas foram realizadas, inicialmente, com recurso ao software IBM SPSS Statistics, mediante a aplicação de técnicas de estatística descritiva e, posteriormente, com a utilização de testes de hipóteses não paramétricos.

A análise descritiva permitiu caracterizar os participantes no estudo relativamente às variáveis sociodemográficas e organizacionais, bem como descrever os resultados obtidos nos diversos construtos do questionário. Em seguida, procedeu-se à avaliação da consistência interna dos construtos utilizados, através do cálculo do coeficiente alfa de Cronbach (α). Este coeficiente varia entre 0 e 1, sendo que os valores entre 0,7 e 0,8 são considerados razoáveis, entre 0,8 e 0,9 são considerados bons e maiores do que 0,9 são interpretados como excelentes (Cronbach, 1951).

Para aferir a normalidade das distribuições, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, tendo-se verificado que os dados não seguiam uma distribuição normal. Deste modo, recorreu-se a técnicas estatísticas não paramétricas, mais concretamente ao teste

de Kruskal-Wallis, com o objetivo de identificar diferenças estatisticamente significativas entre grupos (segmento de mercado, dimensão da organização e tempo de atividade) para os diferentes construtos analisados.

Adicionalmente, foi utilizada a Modelação de Equações Estruturais baseada nos Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM), com recurso ao SmartPLS 4.0, de acordo com as recomendações metodológicas de Russo & Stol (2022), com o propósito de avaliar e testar as onze hipóteses de investigação colocadas.

Esta abordagem multivariada permitiu avaliar a validade e fiabilidade do modelo de mensuração (avaliando a consistência interna composta, a validade convergente (Henseler *et al.*, 2009) e discriminante (Fornell & Larcker, 1981; Henseler *et al.*, 2015), bem como estimar as relações estruturais entre os construtos, através da análise de trajetórias, valores de R^2 e significância estatística dos coeficientes (via *bootstrapping*). A análise multigrupo (PLS-MGA) foi, também, aplicada para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre subgrupos organizacionais.

3.4 Caracterização da amostra

A população-alvo deste estudo é composta por 14.036 trabalhadores ligados aos setores da agricultura, pescas e agroindústria na Região, representando o universo de referência da investigação (INE, 2024a). O inquérito por questionário foi divulgado através do email da Universidade dos Açores, junto de várias empresas dos sectores.

Para a definição da dimensão, recorreu-se ao método de amostragem aleatória simples, tendo em consideração o contexto de população finita. Com base num grau de confiança de 90%, numa margem de erro de 6,9%, determinou-se uma amostra representativa de 140 indivíduos. Este procedimento assegura que os resultados obtidos apresentam um nível de precisão estatística aceitável, permitindo generalizar, com prudência, as conclusões da investigação à população de referência.

Na Figura 1, apresenta-se a caracterização da amostra por segmento de atividade, dimensão da empresa (grande empresa – mais de 250 colaboradores; média empresa – 51 a 250 colaboradores; pequena empresa – 11 a 50 colaboradores; microempresa – até 10 colaboradores), função desempenhada e tempo no mercado.

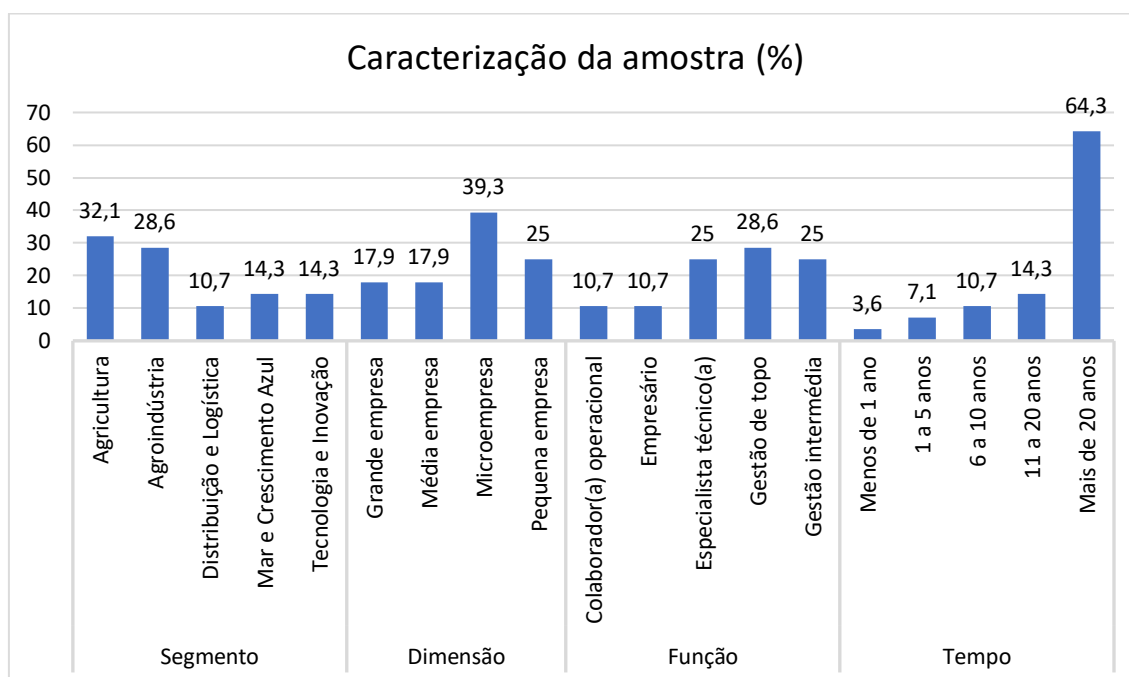
No que se refere ao segmento, as respostas distribuem-se pelos setores da Agricultura (32,1%) e da Agroindústria (28,6%), seguidos pela Distribuição e Logística (10,7%), Mar e Crescimento Azul (14,3%) e Tecnologia e Inovação (14,3%).

Quanto à dimensão das empresas, observa-se que 39,3% são microempresas, seguidas de pequenas empresas (25,0%), médias empresas (17,9%) e grandes empresas (17,9%).

Quanto à função dos participantes, destaca-se a presença de profissionais em funções de gestão de topo (28,6%), gestão intermédia (25,0%) e especialistas técnicos (25,0%). Registaram-se, ainda, participações de colaboradores operacionais (10,7%) e de empresários (10,7%).

Por fim, quanto ao tempo de atividade das organizações no mercado, a maioria reporta uma existência superior a 20 anos (64,3%), sendo que 14,3% operam entre 11 a 20 anos, 10,7% entre 6 a 10 anos, 7,1% entre 1 a 5 anos, e 3,6% estão no mercado há menos de 1 ano.

Figura 1. Caracterização da amostra (%)



As organizações inquiridas apresentam uma distribuição territorial diversificada, apresentada no Anexo 5. Os dados mostram que as ilhas com maior percentagem de organizações com operação são a Terceira (64,3%) e São Miguel (53,6%). Com o exterior, 35,7% das organizações indicam ter atividade. Nas restantes ilhas, os valores são significativamente mais baixos: Corvo (14,3%), Flores, Faial e Santa Maria (17,9%), Pico (21,4%), São Jorge (25%) e Graciosa (28,6%).

No que concerne às entrevistas efetuadas, é de realçar que a amostra qualitativa inclui oito entidades, entre empresas, associações e organizações de apoio à I&D. Os testemunhos foram sintetizados e anonimizados, recorrendo a códigos identificativos por motivos de confidencialidade.

CAPÍTULO IV – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, procede-se à análise descritiva de cada uma das variáveis/construtos incluídos no questionário, complementada por uma análise inferencial associada a esses mesmos construtos. Numa fase inicial, avaliou-se a fiabilidade de cada construto através do coeficiente alfa de Cronbach e testou-se a normalidade dos dados com base no teste de Kolmogorov-Smirnov, de forma a assegurar a sua adequação à análise estatística inferencial, tendo-se de seguida, utilizado testes de hipóteses não paramétricos, nomeadamente o teste de Kruskal-Wallis. Posteriormente, foi testado o modelo de avaliação proposto, recorrendo à metodologia PLS-SEM.

4.1 Da análise exploratória de dados à análise inferencial

Neste primeiro subcapítulo serão descritos os dados exploratórios obtidos com a aplicação do questionário.

Procede-se à análise descritiva dos construtos que serviram de base à formulação das hipóteses de investigação, nomeadamente: Consciência e Perceção sobre a Transformação Digital, Ponto de Partida Digital da Organização, Motivos para a Transformação Digital, Prontidão para a Mudança Digital, Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança, Limitações, Adoção e Satisfação com as Tecnologias da Indústria 4.0, Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa, Localização Geográfica e Tecnologias Emergentes. A apresentação dos resultados baseia-se nas frequências e distribuições das respostas obtidas, com apoio em gráficos e tabelas. Por fim, é realizada a análise da consistência interna dos referidos construtos.

De forma a testar as hipóteses de investigação subjacentes a cada um dos construtos, foram analisados os requisitos de qualidade, nomeadamente a sua fiabilidade e a normalidade. Com o objetivo de avaliar a fiabilidade das escalas utilizadas neste estudo — isto é, a consistência interna dos itens que compõem cada construto — foi calculado o coeficiente alfa de Cronbach (α), conforme proposto por Cronbach, (1951). Este indicador permite verificar se os diferentes itens de uma escala estão correlacionados entre si e se, em conjunto, avaliam de forma coerente o conceito que se pretende estudar. A consistência interna assume valores entre 0 e 1, sendo que valores mais elevados indicam maior homogeneidade entre os itens e, conseqüentemente, maior fiabilidade da escala.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, a maioria dos construtos apresenta valores de alfa de Cronbach entre 0,704 e 0,968, o que indica uma boa a excelente consistência interna.

Tabela 1. Valores do coeficiente alfa de Cronbach para os construtos em análise

Sigla	Designação da questão	n°. de itens	Valor do coeficiente alfa de Cronbach	Consistência
CPTD	Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital	7	0,885	Muito Boa
PPDO	Ponto de Partida Digital da Organização	3	0,84	Boa
MTDO	Motivos para a transformação digital	8	0,664	Questionável
PMDS	Prontidão para implementar mudanças digitais	2	0,91	Excelente
AVEL	Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança	3	0,769	Aceitável
LAT	Limitações para a adoção das tecnologias da Indústria 4.0	5	0,638	Questionável
AIT	Aumentar a implementação das tecnologias da Indústria 4.0	5	0,704	Aceitável
ST	Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0	2	0,968	Excelente
ILG	Importância Localização Geográfica	5	0,833	Boa
OLG	Oportunidades Localização Geográfica	4	0,798	Aceitável
ISRS	Importância da Sustentabilidade e Responsabilidade Social	2	0,78	Aceitável
IERL	Interação com o Ecossistema Local e Regional	3	0,573	Fraca
IIERL	Importância Interação com o Ecossistema Local e Regional	2	0,078	Inaceitável
TE	Tecnologias emergentes que se prevê estarem em ascensão	6	0,668	Questionável

Para aferir a metodologia estatística mais adequada e validar a generalização dos resultados, procedeu-se à análise da normalidade das distribuições dos construtos. Esta análise teve por base os 12 construtos que apresentaram valores do coeficiente alfa de Cronbach superiores a 0,60.

Conforme se pode verificar na Tabela 2, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra, que revelou valores de significância inferiores a 0,05 em todos os construtos ($p < 0,001$), o que indicou a rejeição da hipótese nula de normalidade.

Tabela 2. Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra

Construtos	CPTD	PPDO	MTDO	PMDS	AVEL	LAT	AIT	ST	ILG	OLG	ISRS	TE
Estatística teste	0,134	0,194	0,090	0,189	0,180	0,198	0,189	0,219	0,204	0,189	0,224	0,109
Significância	<,001	<,001	0,008	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001

Face a este resultado, optou-se pela utilização de técnicas estatísticas não paramétricas, mais especificamente o teste de Kruskal-Wallis, adequado para comparar diferenças entre mais de dois grupos independentes.

Este teste foi aplicado para averiguar se existem ou não diferenças estatisticamente significativas nas percepções dos inquiridos relativamente a cada construto, tendo como variáveis de segmentação o segmento de mercado, a dimensão da empresa e o tempo de atividade da organização.

4.1.1 Consciência e percepção sobre a transformação digital

Conforme se constata no Anexo 6, dedicado à consciência e percepção sobre a transformação digital, a maioria dos inquiridos reconhece a importância da transformação

digital por parte da liderança, com 42,9% a concordar parcialmente e 39,3% a concordar totalmente. A satisfação com o ritmo da transformação digital registra níveis mais moderados, com 39,3% de concordância parcial e 32,1% de neutralidade. A transformação digital é, ainda, percebida como um elemento permanente na agenda por 46,4% dos participantes (concordância parcial), embora 28,6% se mantenham neutros. A informação dos colaboradores sobre a digitalização revela uma distribuição mais equilibrada entre posições neutras (28,6%), concordância parcial (32,1%) e respostas de discordância (17,9% – discordo; 3,6 – discordo parcialmente). No que respeita ao investimento em formação e competências digitais, as opiniões dividem-se entre concordância parcial (32,1%), neutralidade (28,6%) e níveis de discordância de 28,6%. A percepção da transformação digital como oportunidade de crescimento é referida com concordância parcial por 46,4% dos inquiridos, enquanto 25% permanecem neutros e 21,4% concordam totalmente. Já no que se refere à abertura à adoção de novas tecnologias digitais, 28,6% manifestam concordância total, 28,6% adotam uma posição neutra, 25% discordam parcialmente e 17,9% concordam parcialmente.

Neste construto foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nas três variáveis sociodemográficas analisadas. Conforme se verifica no Anexo 4, em termos de segmento de mercado ($H = 31,917$; $p < 0,001$), os setores da Tecnologia e Inovação e do Mar e Crescimento Azul apresentaram maior consciência e percepção sobre a transformação digital, enquanto a Agricultura registou os valores mais baixos. Também na dimensão da empresa ($H = 36,144$; $p < 0,001$), as grandes e médias empresas demonstraram maior percepção, contrastando com as microempresas. Quanto ao tempo de atividade ($H = 15,931$; $p = 0,001$), as organizações com mais de 20 anos e com idade igual ou inferior a 5 anos evidenciaram níveis superiores de percepção, sendo os valores mais baixos observados nas empresas com 11 a 20 anos.

4.1.2 Avaliação do ponto de partida digital da organização

Conforme se observa no Anexo 7, a identificação de ativos estratégicos no contexto da transformação digital é referida com discordância parcial por 39,3% dos inquiridos e com neutralidade por outros 39,3%; 14,3% concordam parcialmente e 7,1% discordam, não se registando concordância total. Relativamente à compreensão das capacidades da organização face à concorrência, 50% mantêm uma posição neutra, 21,4% concordam parcialmente, 14,3% discordam e 14,3% discordam parcialmente. Quanto à visão dos primeiros passos para a transformação digital, 46,4% mantêm-se neutros, 28,6%

discordam parcialmente, 14,3% concordam parcialmente e 10,7% discordam. No Anexo 8, que se debruça sobre os motivos que justificam a transformação digital, a adoção de novas tecnologias é considerada importante por 42,9% dos inquiridos, muito importante por 35,7% e indiferente por 21,4%. A cultura organizacional é considerada indiferente por 39,3%, muito importante por 32,1% e importante por 28,6%. A capacitação de colaboradores é referida como importante por 57,1%, muito importante por 32,1% e indiferente por 10,7%. O investimento financeiro é considerado muito importante por 75%, importante por 17,9% e indiferente por 7,1%. A oportunidade de se diferenciar no mercado é considerada muito importante por 50%, importante por 35,7% e indiferente por 14,3%. No que diz respeito às regulamentações e conformidade legal, 57,1% consideram-nas importantes, 21,4% muito importantes, 17,9% indiferentes e 3,6% pouco importantes. A condição de líder de mercado é considerada indiferente por 42,9%, pouco importante por 39,3% e nada importante por 17,9%. A pressão competitiva e os requisitos do mercado são considerados importantes por 57,1% e muito importantes por 42,9%. De acordo com o Anexo 9, a prontidão organizacional para mudanças digitais é classificada como elevada por 42,9%, média por 32,1%, baixa por 14,3%, muito elevada por 7,1% e muito baixa por 3,6%. Quanto ao grau de digitalização atual, 39,3% consideram-no elevado, 32,1% médio, 25% baixo e 3,6% muito elevado. Conforme apresentado no Anexo 10, o investimento realizado nos últimos dois anos foi de pequena dimensão (inferior a 1% do volume de negócios) para 64,3% das organizações, médio (entre 1% e 3%) para 17,9% e elevado (superior a 3%) também para 17,9%. Relativamente ao investimento planeado para os próximos dois anos, 53,6% das organizações preveem manter um investimento pequeno, 28,6% preveem um investimento médio e 17,9% um investimento elevado.

Esta subsecção inclui os construtos (PPDO) Ponto de partida digital da organização, (MTDO) Motivos para a transformação digital e (PMDS) Prontidão para implementar mudanças digitais, conforme se verifica no Anexo 4.

Em relação ao primeiro (PPDO), verificaram-se diferenças estatisticamente significativas no segmento de mercado ($H = 17,979$; $p = 0,001$), na dimensão da empresa ($H = 23,477$; $p < 0,001$) e no tempo de atividade no mercado ($H = 12,310$; $p = 0,006$). Os setores da Tecnologia e Inovação e da Agroindústria apresentaram níveis mais elevados de preparação digital, enquanto a Distribuição e Logística registou os valores mais baixos. Relativamente à dimensão, as médias e grandes empresas revelaram maior preparação digital em comparação com as microempresas, que se destacaram pelos níveis mais

baixos. Quanto ao tempo no mercado, as organizações com idade igual ou inferior a 5 anos registraram os valores mais elevados, ao passo que as com 6 a 10 anos apresentaram os mais baixos.

Quanto ao segundo (MTDO), observaram-se diferenças estatisticamente significativas no segmento de mercado ($H = 34,275$; $p < 0,001$) e no tempo de atividade no mercado ($H = 16,286$; $p < 0,001$), mas não na dimensão da empresa ($H = 3,116$; $p = 0,374$). Os setores da Tecnologia e Inovação e da Agroindústria atribuíram maior relevância aos motivos para a transformação digital, enquanto a Distribuição e Logística apresentou os valores mais baixos. Quanto ao tempo de atividade, as organizações com mais de 20 anos evidenciaram maior motivação para a transformação digital, em contraste com as empresas com 11 a 20 anos, que demonstraram níveis de motivação mais reduzidos.

Por fim, em relação ao construto (PMDS), registraram-se diferenças estatisticamente significativas nas três variáveis sociodemográficas. Por segmento de mercado ($H = 41,988$; $p < 0,001$), os setores da Distribuição e Logística, Tecnologia e Inovação e Agroindústria evidenciaram maior prontidão para implementar mudanças digitais, enquanto a Agricultura apresentou os valores mais baixos. Também foram encontradas diferenças significativas em função da dimensão da empresa ($H = 67,481$; $p < 0,001$), com as pequenas, médias e grandes empresas a revelarem maior preparação, ao contrário das microempresas, que demonstraram menor prontidão. Quanto ao tempo de atividade no mercado ($H = 33,362$; $p < 0,001$), as empresas com idade igual ou inferior a 5 anos revelaram a maior predisposição para a mudança, enquanto as com 11 a 20 anos registraram os níveis mais baixos.

4.1.3 Alinhamento e visão estratégica da liderança

A quarta secção do inquérito procurou avaliar o grau de alinhamento e a visão estratégica da liderança face à transformação digital. As respostas foram registadas numa escala de Likert de cinco pontos, variando entre “Discordo” e “Concordo totalmente”, conforme se observa no Anexo 11. No que diz respeito à afirmação de que os executivos se encontram unidos em torno de uma visão digital comum, 39,3% dos inquiridos manifestam concordância parcial, 35,7% mantêm-se neutros e 25% concordam totalmente, não se registando qualquer nível de discordância. Relativamente à visão da liderança enquanto abrangente para todos os setores da organização, 50% dos inquiridos concordam parcialmente, 25% concordam totalmente, 17,9% mantêm-se neutros e 7,1% discordam

parcialmente. Por fim, quanto à promoção de mudanças significativas por parte da liderança, 67,9% dos participantes concordam parcialmente e 17,9% concordam totalmente, enquanto 14,3% mantêm-se neutros. Também neste item não foram registadas respostas de discordância. Quanto à eficácia da comunicação da visão digital, esta foi avaliada numa escala entre “Muito baixa” e “Muito elevada”, com 57,1% a classificá-la como “Elevada”, 39,3% como “Média”, e 3,6% como muito elevada. Não se registaram avaliações nos níveis baixo ou muito baixo, conforme representado no Anexo 12.

Em relação ao construto (AVEL), como se verifica no Anexo 4, observaram-se diferenças estatisticamente significativas em todas as variáveis analisadas. Por segmento de mercado ($H = 46,639$; $p < 0,001$), os setores da Tecnologia e Inovação e da Agroindústria revelaram maior alinhamento e visão estratégica da liderança face à transformação digital, enquanto a Distribuição e Logística apresentou os valores mais baixos. Em relação à dimensão da empresa ($H = 37,884$; $p < 0,001$), as médias empresas destacaram-se com os valores mais elevados, contrastando com as microempresas. Quanto ao tempo de atividade ($H = 21,560$; $p < 0,001$), as organizações com idade igual ou inferior a 5 anos apresentaram o maior alinhamento estratégico, ao passo que as com 6 a 10 anos revelaram os níveis mais baixos.

4.1.4 Conhecimento e implementação das tecnologias da Indústria 4.0

Com base nas respostas recolhidas na quinta secção do inquérito, observam-se níveis variados de familiaridade e implementação das tecnologias da Indústria 4.0. Conforme apresentado no Anexo 13, concernente ao grau de conhecimento sobre o conceito de transformação digital, 50% dos inquiridos afirmam conhecê-lo de forma superficial e pretendem aprofundar o tema, 35,7% indicam ter conhecimento suficiente, com iniciativas-piloto em curso, 10,7% referem dominá-lo e aplicá-lo, enquanto 3,6% reconhecem apenas um conhecimento vago, considerando-o irrelevante para a organização. No que diz respeito ao nível de implementação da estratégia digital, 42,9% indicam não possuir qualquer estratégia, 21,4% referem que esta se encontra em desenvolvimento, 17,9% assinalam o lançamento de iniciativas-piloto, 14,3% indicam estar em fase de implementação e 3,6% afirmam que a estratégia já está plenamente formada. De acordo com o Anexo 14, no que se refere às tecnologias utilizadas, os dispositivos móveis são referidos por 89,3% das organizações e os sensores por 75%. A tecnologia RFID é utilizada por 53,6% e os sistemas TI integrados por 46,4%. Já os sistemas de localização em tempo real e a telegestão são utilizados por 39,3%, e as

comunicações M2M por 42,9%. Em relação aos grupos tecnológicos mais utilizados, a cibersegurança é referida por 67,9%, a *cloud computing* por 53,6% e a IoT por 50%. Tecnologias emergentes como *big data* e análise de dados são usadas por 35,7%, robótica por 25%, inteligência artificial e *machine learning* por 17,9%, e realidade aumentada ou virtual apenas por 7,1%. No que respeita às etapas já iniciadas no âmbito da transformação digital, 71,4% das organizações indicam ter realizado a avaliação das necessidades tecnológicas, 64,3% promoveram formação e capacitação dos colaboradores, e 67,9% adotaram medidas de cibersegurança. A adaptação da infraestrutura tecnológica e a implementação de novas tecnologias foram iniciadas por 57,1% das organizações. Apenas 46,4% afirmam ter estabelecido parcerias estratégicas para inovação tecnológica. Segundo o Anexo 15, os custos de implementação são considerados uma limitação muito importante por 78,6% dos inquiridos, importante por 10,7%, indiferente por 7,1% e pouco importante por 3,6%. A falta de conhecimento técnico é tida, também, como muito importante por 64,3%, importante por 17,9%, indiferente por 14,3% e pouco importante por 3,6%. A resistência à mudança é referida como muito importante por 42,9%, importante por 35,7%, indiferente por 10,7% e pouco importante por 10,7%. A falta de infraestrutura adequada é considerada importante por 46,4% e muito importante por 39,3%; 7,1% dos inquiridos classificam-na como indiferente e outros 7,1% como pouco importante. As questões de segurança e privacidade são vistas como importantes por 32,1%, muito importantes por 25%, indiferentes por 10,7% e pouco importantes por 32,1%. No que diz respeito às formas de superar os desafios da transformação digital, a formação contínua e capacitação é considerada importante por 60,7% dos inquiridos e muito importante por 35,7%, enquanto 3,6% indicam indiferença. O investimento em tecnologia e infraestrutura é valorizado como importante por 50% e muito importante por 42,9%; 3,6% consideram-no pouco importante e 3,6% indiferente. As parcerias com outras organizações e instituições são apontadas como importantes por 46,4%, muito importantes por 39,3%, indiferentes por 10,7% e pouco importantes por 3,6%. O fomento de uma cultura de inovação é considerado importante por 71,4% e muito importante por 17,9%; 7,1% manifestam indiferença e 3,6% atribuem-lhe pouca importância. No que respeita ao apoio governamental e aos incentivos, estes são considerados muito importantes por 82,1% dos inquiridos e importantes por 17,9%. Quanto à satisfação com o desempenho das tecnologias Indústria 4.0, 46,4% sentem-se satisfeitos e 25% mantêm uma posição neutra. Em relação ao impacto financeiro, os níveis de satisfação dividem-se entre 32,1%

satisfeitos, 35,7% neutros, e apenas 7,1% muito satisfeitos, conforme se observa no Anexo 16. Por fim, a avaliação das competências dos recursos humanos revela, conforme observado no Anexo 17, na maioria das áreas, que prevalece a percepção de que estas são não relevantes ou ainda pouco adequadas. Destaque para os domínios de infraestrutura (42,9% não relevante), análise de dados (42,9% não relevante) e software colaborativo (46,4% não relevante).

Esta subsecção inclui os construtos (LAT) Limitações para a adoção das tecnologias da Indústria 4.0; (AIT) Aumentar a implementação das tecnologias da Indústria 4.0; e (ST) Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0, como se poderá verificar no Anexo 4.

No primeiro construto (LAT), foram identificadas diferenças estatisticamente significativas no segmento de mercado ($H = 20,531$; $p < 0,001$) e no tempo de atividade no mercado ($H = 17,176$; $p < 0,001$), mas não na dimensão da empresa ($H = 1,399$; $p = 0,706$). Os setores do Mar e Crescimento Azul e da Tecnologia e Inovação apresentaram maior percepção das limitações à adoção tecnológica, ao passo que a Distribuição e Logística registou os valores mais baixos. No que respeita ao tempo de atividade, as organizações com mais de 20 anos atribuíram maior relevância às limitações, enquanto aquelas com 11 a 20 anos evidenciaram percepções menos acentuadas.

No construto (AIT), foram observadas diferenças estatisticamente significativas no segmento de mercado ($H = 11,765$; $p = 0,019$) e no tempo de atividade ($H = 17,080$; $p < 0,001$), mas não na dimensão da empresa ($H = 2,336$; $p = 0,506$). Os setores da Agricultura e da Tecnologia e Inovação evidenciaram maior intenção de reforçar a implementação de tecnologias da Indústria 4.0, enquanto a esfera do Mar e Crescimento Azul apresenta valores mais baixos. Relativamente ao tempo de mercado, as organizações com idade igual ou inferior a 5 e com mais de 20 anos demonstraram maior predisposição para intensificar essa implementação, ao passo que as empresas com 6 a 10 anos revelaram menor dinamismo nesse aspeto.

Por fim, no construto (ST) foram observadas diferenças estatisticamente significativas em todas as variáveis analisadas. No segmento de mercado ($H = 37,840$; $p < 0,001$), os setores da Tecnologia e Inovação e do Mar e Crescimento Azul demonstraram maior satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0, enquanto o setor da Agricultura apresentou os valores mais baixos. Relativamente à dimensão da empresa ($H = 28,175$; $p < 0,001$), as médias e grandes empresas registaram maior satisfação, contrastando, proporcionalmente, com as microempresas. Quanto ao tempo de atividade ($H = 26,422$;

$p < 0,001$), as organizações com idade igual ou inferior a 5 e com mais de 20 anos evidenciaram níveis mais elevados de satisfação, enquanto as com 11 a 20 anos revelaram os valores mais baixos.

4.1.5 Impacto da localização geográfica nos desafios e oportunidades

Na sexta secção do inquérito, 64,3% dos participantes consideram que a localização apresenta desafios específicos que dificultam a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, ao passo que apenas 14,3% a percebem como fator facilitador, conforme se observa no Anexo 18. Quanto aos desafios geográficos concretos, destacam-se o custo elevado de implementação e o isolamento dos mercados principais, com 67,9% a classificarem ambos como “muito importantes”. A dificuldade logística (57,2%), a escassez de formação local (53,5%) e o acesso limitado a infraestruturas tecnológicas (39,3%) também surgem como barreiras relevantes, classificadas como muito importantes, visível no Anexo 19. Como se observa no Anexo 20, os incentivos públicos específicos para a região são percebidos como o principal fator de valorização da localização geográfica, sendo considerados muito importantes por 78,6% dos inquiridos. Também a proximidade a ecossistemas naturais, enquanto oportunidade para testar soluções sustentáveis, reúne um grau elevado de valorização, com 71,4% a considerarem-na importante e 14,3% muito importante. Por outro lado, tanto o acesso a mercados específicos devido à localização, como a possibilidade de parcerias com instituições de I&D locais registam níveis superiores de indiferença por parte dos inquiridos, com 32,1% e 35,7%, respetivamente, a atribuírem-lhes essa classificação.

Analise-se, então, os dois construtos relacionados com a presente subsecção (ILG) Importância localização geográfica, e (OLG) Oportunidades localização geográfica, conforme espelhado no Anexo 4.

Registaram-se diferenças estatisticamente significativas em todas as variáveis analisadas para o construto ILG. Por segmento de mercado ($H = 39,199$; $p < 0,001$), os setores da Agricultura, Agroindústria e Mar e Crescimento Azul atribuíram maior importância à localização, enquanto os setores da Distribuição e Logística e da Tecnologia e Inovação apresentaram valores consideravelmente mais baixos. No que respeita à dimensão da organização ($H = 45,127$; $p < 0,001$), as microempresas destacaram-se com a maior valorização da localização geográfica, seguidas das médias empresas, enquanto as pequenas empresas apresentaram os valores mais baixos. Quanto ao tempo de atividade no mercado ($H = 28,804$; $p < 0,001$), as organizações com 11 a 20 anos atribuíram maior

importância à localização, contrastando com as que se encontram ativas entre 6 a 10 anos, que registaram a menor valorização deste fator.

No construto OLG, observaram-se diferenças estatisticamente significativas em todas as variáveis sociodemográficas analisadas. No segmento de mercado ($H = 19,131$; $p < 0,001$), os setores do Mar e Crescimento Azul e da Agricultura atribuíram maior importância às oportunidades associadas à localização, enquanto a Tecnologia e Inovação e a Distribuição e Logística apresentaram as valorizações mais baixas. No que respeita à dimensão da organização ($H = 48,703$; $p < 0,001$), as microempresas destacaram-se com uma valorização claramente superior, ao contrário das pequenas empresas, que registaram os valores mais baixos. Quanto ao tempo de atividade ($H = 8,054$; $p = 0,045$), as organizações com mais de 20 anos e entre 11 a 20 anos atribuíram maior importância à localização, enquanto as entre 6 a 10 anos revelaram menor valorização.

4.1.6 Sustentabilidade e responsabilidade social

De entre os inquiridos, 32,1% referem que as organizações desenvolvem iniciativas pontuais de responsabilidade social, enquanto 21,4% estabelecem parcerias com entidades da área, 10,7% já integram estratégias sustentáveis no seu modelo de negócios, 14,3% ainda não implementam ações, mas manifestam intenção de o fazer, e apenas 3,6% não têm práticas, nem planos nesse sentido, conforme se observa no Anexo 21. Quanto à importância atribuída à sustentabilidade e responsabilidade social na tomada de decisões estratégicas, apresentada no Anexo 22, 50% classificam-na como “importante”, e 28,6% como “muito importante” e, apenas 3,6% consideram-nas pouco importantes. No que diz respeito ao impacto destas iniciativas na imagem e desempenho organizacional, 60,7% dos inquiridos consideram esse impacto “importante”, seguido de 17,9% que o classificam como “muito importante”. Já 3,6% avaliam esse impacto como “pouco importante”.

Conforme se verifica no Anexo 4, no construto (ISRS) registaram-se diferenças estatisticamente significativas em todas as variáveis sociodemográficas analisadas. No segmento de mercado ($H = 41,270$; $p < 0,001$), o setor da Agroindústria atribui maior importância às iniciativas de sustentabilidade e responsabilidade social, contrastando com a Distribuição e Logística, que apresentou o valor mais baixo. No que respeita à dimensão da organização ($H = 52,683$; $p < 0,001$), as médias empresas e as grandes empresas destacaram-se pela valorização mais elevada, enquanto as pequenas empresas evidenciaram menor valorização. Relativamente ao tempo de atividade ($H = 15,338$; $p =$

0,002), as organizações com mais de 20 e as com idade igual ou inferior a 5 anos atribuíram maior importância ao construto, sendo as empresas entre 6 a 10 anos as que apresentaram os valores mais baixos.

4.1.7 Interação com o ecossistema local e regional

No que respeita às parcerias estratégicas para pesquisa e desenvolvimento, 42,9% das organizações referem participar “às vezes”, 32,1% indicam fazê-lo com frequência, 14,3% raramente, 7,1% nunca e apenas 3,6% muito frequentemente. Relativamente às colaborações eventuais em projetos específicos, 57,1% dos inquiridos indicam realizá-las com frequência, 25% referem que ocorrem ocasionalmente, 10,7% muito frequentemente e 7,1% raramente. Não se registaram respostas na categoria “nunca”. Quanto à participação em redes de negócios e eventos locais, 32,1% das organizações indicam participar com frequência, 32,1% “às vezes” e outros 32,1% raramente, enquanto 3,6% referem fazê-lo muito frequentemente. Também aqui não se registam respostas na categoria “nunca”, conforme consta do Anexo 23. Relativamente à importância atribuída às interações com o ecossistema local/regional para o sucesso da organização, 57,1% dos inquiridos consideram-nas importantes, 28,6% assumem uma posição indiferente e 14,3% classificam-nas como muito importantes. Quanto ao nível de apoio efetivamente recebido por parte do ecossistema local/regional, 50% dos respondentes consideram-no importante, 25% indiferente, 21,4% muito importante e 3,6% pouco importante, dados vertidos no Anexo 23.

4.1.8 Perceção das organizações relativamente às consequências futuras da adoção da Indústria 4.0

A análise desta subsecção procurou compreender, num horizonte temporal de cinco anos, as expectativas das organizações relativamente às consequências da adoção da Indústria 4.0, tendo-se constatado, com base no Anexo 25, que a eficiência do sistema de produção e a redução dos custos operacionais são os aspetos mais valorizados, ambos assinalados por 85,7% dos inquiridos como consequências prováveis da transformação digital. O aumento dos proveitos é igualmente destacado, com 78,6% das organizações a considerarem essa possibilidade, enquanto 67,9% antecipam um aumento da eficiência dos sistemas de gestão. Apesar da tendência dominante ser de otimismo, uma proporção não negligenciável de respostas reflete alguma reserva: 14,3% não associam melhorias

nem na eficiência da produção nem na redução de custos, 21,4% não esperam um aumento de proveitos e 32,1% não perspetivam uma melhoria nos sistemas de gestão.

A importância atribuída a um conjunto de tecnologias emergentes, antecipando o seu grau de relevância futura para o desenvolvimento organizacional, foi questionada. No que toca à impressão 3D, o padrão é mais disperso: 25% consideram-na muito importante, 32,1% importante e 28,6% indiferente, sendo que 14,2% a classificam como pouco ou nada importante. Já a blockchain revela percepções ainda menos consolidadas: 21,4% atribuem-lhe elevada importância, 32,1% creem-na importante, mas uma parcela significativa 28,6% permanece indiferente, enquanto 17,9% a consideram pouco ou nada importante. As energias renováveis destacam-se pela sua valorização: 71,4% dos inquiridos classificam-nas como muito importantes, e 28,6% como importantes, evidenciando um consenso generalizado quanto ao seu papel estratégico, especialmente em regiões com preocupações ambientais. Por fim, a medicina e biotecnologia também apresentam um perfil positivo: 39,3% atribuem-lhe muita importância, 46,4% referem-nas como “importante”, com apenas 14,2% a expressar indiferença ou pouca relevância, como se observa no Anexo 26.

Foram identificadas diferenças estatisticamente significativas nos três critérios analisados no construto (TE). Por segmento de mercado ($H = 10,528$; $p = 0,032$), os setores da Tecnologia e Inovação e do Mar e Crescimento Azul foram os que mais valorizam a relevância futura destas tecnologias, enquanto a Distribuição e Logística apresentou o valor mais baixo. Quanto à dimensão da organização ($H = 26,035$; $p < 0,001$), destacam-se as grandes e médias empresas, com maior valorização, em contraste com as pequenas empresas. No critério tempo de atividade ($H = 17,639$; $p < 0,001$), sobressaem com valores elevados as organizações com idade igual ou inferior a 5 anos e as com mais de 20 anos, enquanto as com 6 a 10 anos registaram os valores mais baixos, como pode decomposto no Anexo 4.

Assim, verificou-se que 28 das 36 hipóteses foram validadas, indicando a existência de diferenças relevantes em grande parte dos construtos analisados.

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados obtidos para cada construto, de acordo com as variáveis independentes:

Tabela 3. Síntese dos resultados das hipóteses de investigação – 12 construtos

Construto	Segmento de mercado	Dimensão da empresa	Tempo de atividade
CPTD	Sim	Sim	Sim
PPDO	Sim	Não	Sim
MTDO	Sim	Não	Sim
PMDS	Sim	Sim	Sim
AVEL	Sim	Sim	Sim
LAT	Sim	Não	Sim
AIT	Sim	Não	Sim
ST	Sim	Sim	Sim
ILG	Sim	Sim	Sim
OLG	Sim	Não	Não
ISRS	Sim	Não	Não
TE	Sim	Sim	Sim

4.2 Avaliação da qualidade do modelo proposto

A avaliação do modelo teórico foi realizada através da Modelação de Equações Estruturais baseada nos Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM), com recurso ao software SmartPLS 4.0, seguindo as etapas recomendadas por Russo & Stol, (2022): avaliação do modelo de mensuração e avaliação do modelo estrutural.

A análise do modelo de mensuração teve como objetivo verificar a relação entre os indicadores observáveis e os construtos latentes, com base na consistência interna (α de Cronbach e fiabilidade composta - CR), validade convergente (Variância Média Extraída - AVE) e validade discriminante (critérios de Fornell-Larcker e HTMT).

Todos os construtos apresentaram valores de $\alpha > 0,70$, $CR > 0,70$ e $AVE > 0,50$, cumprindo os limiares propostos por Wong (2019). Quanto à validade discriminante, todos os construtos cumpriram os critérios de Fornell-Larcker, com a raiz quadrada da AVE superior às correlações entre construtos, bem como o critério HTMT (valores $< 0,85$), conforme recomendado por Sallaku & Vigolo, (2024). A validade discriminante do modelo foi confirmada. A raiz quadrada da AVE (valores a negrito, na diagonal) é superior às correlações entre os construtos, em conformidade com o critério de Fornell-Larcker. Adicionalmente, todos os valores de HTMT (acima da diagonal) são inferiores ao limiar de 0,85, o que reforça a distinção empírica entre os construtos avaliados, conforme se observa na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados da fiabilidade, da validade convergente e da validade discriminante

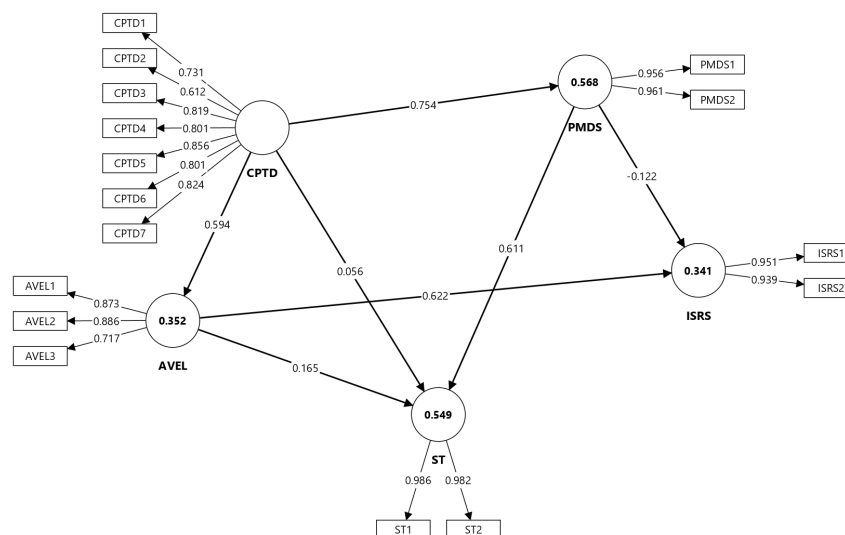
Construtos	α	CR	AVE	AVEL	CPTD	ISRS	PMDS
AVEL	0,775	0,867	0,687	0,829	0,687	0,680	0,460
CPTD	0,892	0,916	0,611	0,594	0,781	0,295	0,814
ISRS	0,881	0,944	0,893	0,573	0,251	0,945	0,149
PMDS	0,912	0,958	0,919	0,407	0,754	0,132	0,959
ST	0,968	0,984	0,969	0,448	0,615	0,127	0,721

Confirmadas a consistência interna, a fiabilidade composta e a validade convergente e discriminante do modelo de mensuração, passou-se à avaliação do modelo estrutural.

Esta fase recorreu ao coeficiente de determinação (R^2) e à análise dos caminhos estruturais, com base nos resultados do *bootstrapping*. O Anexo 27 apresenta o modelo conceptual com as trajetórias analisadas.

Com base nos resultados do modelo final, confirma-se a robustez e qualidade do modelo estrutural. Os coeficientes de determinação (R^2) evidenciam uma capacidade explicativa moderada a elevada das variáveis endógenas: 56,8% da variabilidade em PMDS é explicada por CPTD; 35,2% da variabilidade em AVEL também é explicada por CPTD. A satisfação com as tecnologias (ST) é explicada em 54,9% por PMDS, CPTD e AVEL, enquanto a variável ISRS é explicada em 34,1% por PMDS e AVEL. Estes valores reforçam a validade do modelo proposto, destacando o impacto da perceção estratégica (CPTD) na prontidão digital (PMDS) como a relação com maior poder explicativo, conforme se observa na Figura 2.

Figura 2. Resultados do modelo final utilizado com recurso ao PLS-SEM



Conforme se observa na Tabela 5, foram testadas as onze hipóteses apresentadas na Secção 3.1, com base nos coeficientes de trajetória (β), valores-t e p-value, seis hipóteses foram suportadas (H1, H2, H3, H6, H8 e H11), apresentando significância estatística ($p < 0,05$).

Os resultados confirmam o efeito direto entre a Consciência sobre a Transformação Digital (CPTD) e a Prontidão para a Mudança Digital (PMDS), bem como o seu impacto no Alinhamento Estratégico da Liderança (AVEL). Verificou-se o efeito direto de AVEL na Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social (ISRS) e de PMDS na Satisfação com as Tecnologias (ST), conforme evidenciado nas hipóteses H3 e H6.

Adicionalmente, identificaram-se efeitos direto e indireto de AVEL e PMDS sobre os construtos Satisfação com as Tecnologias (ST) e Importância atribuída à Sustentabilidade (ISRS), evidenciando o seu papel mediador em algumas das relações estruturais do modelo.

Por outro lado, cinco hipóteses não foram suportadas (H4, H5, H7, H9 e H10), com valores de p acima do limiar de 0,05. Em alguns casos, como H4 ($p = 0,055$) e H9 ($p = 0,058$), os resultados estiveram próximos da significância, sugerindo potenciais efeitos latentes que podem justificar aprofundamentos futuros. A ausência de suporte estatístico, no entanto, indica que essas relações, no contexto da amostra em análise, não apresentaram robustez suficiente para validação.

Tabela 5. Resultados testes de significâncias às hipóteses sob investigação

Hipóteses	Coefficiente β	t-value	p-value	Decisão
H1: CPTD \rightarrow PMDS	0,754	21,182	0,000	Suportada
H2: CPTD \rightarrow AVEL	0,594	14,364	0,000	Suportada
H3: AVEL \rightarrow ISRS	0,622	9,996	0,000	Suportada
H4: AVEL \rightarrow ST	0,165	1,917	0,055	Não suportada
H5: PMDS \rightarrow ISRS	-0,122	1,726	0,084	Não suportada
H6: PMDS \rightarrow ST	0,611	8,218	0,000	Suportada
H7: CPTD \rightarrow ST	0,056	0,529	0,597	Não suportada
H8: CPTD \rightarrow AVEL \rightarrow ISRS	0,369	7,661	0,000	Suportada
H9: CPTD \rightarrow AVEL \rightarrow ST	0,098	1,896	0,058	Não suportada
H10: CPTD \rightarrow PMDS \rightarrow ISRS	-0,092	1,712	0,087	Não suportada
H11: CPTD \rightarrow PMDS \rightarrow ST	0,461	6,914	0,000	Suportada

Hipótese 1 (H1): *CPTD \rightarrow PMDS "A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital tem impacto significativo na Prontidão da organização para implementar mudanças digitais significativas."*

A hipótese foi confirmada ($\beta = 0,754$; $p < 0,001$), revelando que a percepção estratégica tem um forte impacto positivo significativo na prontidão digital. Organizações que reconhecem o papel da digitalização demonstram maior capacidade de mobilizar recursos e alinhar estratégias (Michelotto & Joia, 2024, p. 13; Veseli *et al.*, 2025, p. 7). Essa percepção molda atitudes internas e influencia a aceitação da mudança, sendo crucial que a liderança promova um ambiente propício à transformação. A prontidão digital é multifacetada, envolvendo competências tecnológicas, gestão, processos e cultura organizacional (Gfrerer *et al.*, 2020, pp. 26–27) e constitui um pré-requisito estratégico para a inovação digital no contexto da Indústria 4.0 (Herceg *et al.*, 2020, p. 2).

Hipótese 2 (H2): *CPTD \rightarrow AVEL "A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital tem impacto significativo no Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança."*

Hipótese também validada ($\beta = 0,594$; $p < 0,001$) numa relação que evidencia que líderes conscientes da transformação digital tendem a alinhar mais eficazmente a visão

estratégica com os objetivos tecnológicos, promovendo coerência organizacional entre a intenção e a ação (AlNuaimi & Singh, 2022, p. 12; Nicolás-Agustín *et al.*, 2021).

No estudo de Yao *et al.* (2023), esse alinhamento é reforçado pela existência de um consenso estratégico digital, que “atua como mediador entre a liderança digital e a transformação digital”, sendo, ainda, sensível aos efeitos moderadores da diversidade organizacional. Neste sentido, a liderança digital e transformacional fomenta agilidade e coesão estratégicas, permitindo às organizações responder de forma estruturada aos desafios impostos pela inovação (McCarthy *et al.*, 2021, p. 91; Yao *et al.*, 2023). Para além da visão estratégica, é fundamental que estes líderes possuam competências técnicas e interpessoais adequadas, como a adaptabilidade, a empatia, a comunicação eficaz e a consciência cultural — qualidades amplamente reconhecidas como essenciais para uma liderança eficaz no contexto digital (Henderikx & Stoffers, 2022, pp. 6–7; Khurniawan *et al.*, 2024, p. 684).

Hipótese 3 (H3): *AVEL* → *ISRS* "O Alinhamento e a Visão Estratégica da Liderança têm impacto significativo na Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa."

Esta hipótese foi, também, confirmada ($\beta = 0,622$; $p < 0,001$), indicando que lideranças alinhadas estrategicamente integram mais eficazmente objetivos de sustentabilidade nas estratégias organizacionais, como fator de competitividade (A. Kumar *et al.*, 2022, p. 6; Tourani & Khatibi, 2020, p. 105). De acordo com Kumar *et al.* (2022), essa integração traduz-se na “internalização da responsabilidade social como pilar estratégico, e não como função acessória”. Casos como o da Ørsted demonstram como a visão sustentável pode atuar como motor de inovação, ao transformar radicalmente o modelo de negócio da empresa e gerar vantagens competitivas sustentáveis (Madsen & Ulhøi, 2021, p. 8).

Rego *et al.* (2015, p. 140) mostram que o alinhamento estratégico com valores de sustentabilidade é reconhecido pelos próprios CEO's como condição essencial para a viabilidade da organização a longo prazo, enquanto a análise de Wang *et al.* (2023, p. 2677) confirma que as características dos líderes estratégicos explicam uma parte significativa da variabilidade nos níveis de responsabilidade social corporativa, com impacto direto na performance.

Hipótese 6 (H6): *PMDS* → *ST* "A Prontidão da organização para implementar mudanças digitais significativas tem impacto significativo na Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0."

A hipótese 6 foi validada ($\beta = 0,611$ $p < 0,001$), o que demonstra que organizações com maior preparação obtêm níveis mais elevados de satisfação tecnológica e desempenho (Ed-Dafali *et al.*, 2023, p. 10; Marcon *et al.*, 2021). A prontidão digital está relacionada com a eficiência operacional e a inovação, sendo influenciada por fatores internos como liderança e estrutura organizacional (Duman & Akdemir, 2021, pp. 2 e 7–9; Govindan & Arampatzis, 2023, pp. 2–3). Além disso, a satisfação com as tecnologias depende da percepção de valor entregue e da adequação ao contexto específico de cada organização (Vane *et al.*, 2021).

Hipótese 8 (H8): *CPTD* → *AVEL* → *ISRS* "O Alinhamento e a Visão Estratégica da Liderança medeia a relação entre a Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital e a Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa."

A mediação foi estatisticamente significativa ($\beta = 0,369$; $p < 0,001$) o que indicia que organizações com liderança alinhada à transformação digital integram mais eficazmente práticas sustentáveis (W. Li *et al.*, 2016, p. 219). A “liderança transformacional verde” reforça essa ligação ao promover comportamentos ecológicos e ao incentivar a responsabilidade social como mecanismo de mediação no desempenho ambiental (Tosun *et al.*, 2022, pp. 1–2). Este efeito é ampliado quando os líderes adotam uma visão estratégica de ecossistema digital, capaz de antecipar tendências e de incorporar objetivos sustentáveis na formulação estratégica (Reuter & Floyd, 2023, pp. 3–4).

Além disso, o alinhamento entre estratégia e tecnologia, quando acompanhado por inovação verde e responsabilidade social, contribui, significativamente, para o desempenho sustentável das organizações (Sobaih *et al.*, 2022, pp. 2–3).

Hipótese 11 (H11): *CPTD* → *PMDS* → *ST* "A Prontidão da organização para implementar mudanças digitais significativas medeia a relação entre a Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital e a Satisfação com as tecnologias da Indústria 4.0."

Hipótese validada ($\beta = 0,461$; $p < 0,001$), o que revela que a prontidão digital traduz percepções estratégicas em resultados concretos (Ghobakhloo & Iranmanesh, 2021; L. Kumar & Sharma, 2025). Modelos de prontidão baseados em competências digitais, planejamento e cultura organizacional têm sido fundamentais na transição para a Indústria 4.0 (Lee & Meng, 2021). Além disso, a prontidão digital atua como catalisador da inovação e adaptação tecnológicas, promovendo maior satisfação com os sistemas implementados (Gfrerer *et al.*, 2020; Vo *et al.*, 2024).

Análise multigrupo (PLS-MGA)

Tendo em conta as especificidades dos setores estratégicos em análise, foi realizada uma análise multigrupo (PLS-MGA) com o objetivo de identificar diferenças estatisticamente significativas nas relações do modelo estrutural em função de variáveis contextuais, como o setor de atividade, a dimensão e o tempo de atividade das organizações.

Setor de Atividade (PLS-MGA)

A primeira segmentação analisada corresponde ao setor de atividade das organizações, sendo definidos dois grupos:

G1: “Agricultura” e “Mar e Crescimento Azul”; e **G2:** “Agroindústria”, “Distribuição e Logística” e “Tecnologia e Inovação”.

Conforme se verifica na Tabela 6, os resultados da análise multigrupo (PLS-MGA) demonstraram a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$ ou $p < 0,01$) em cinco das onze hipóteses analisadas, sugerindo que o setor de atividade da organização influencia a força das relações estruturais previstas no modelo.

Tabela 6. Resultados da análise multigrupo por setor de atividade (G1 vs. G2)

Hipóteses	Diff (G1 - G2)	p value	Decisão
H1: CPTD → PMDS	0,126	0,016*	Diferença significativa
H2: CPTD → AVEL	-0,365	0,001**	Diferença significativa
H3: AVEL → ISRS	0,107	0,351	Não significativa
H4: AVEL → ST	-0,216	0,141	Não significativa
H5: PMDS → ISRS	0,336	0,026*	Diferença significativa
H6: PMDS → ST	0,042	0,862	Não significativa
H7: CPTD → ST	0,246	0,231	Não significativa
H8: CPTD → AVEL → ISRS	-0,166	0,097	Não significativa
H9: CPTD → AVEL → ST	-0,222	0,021*	Diferença significativa
H10: CPTD → PMDS → ISRS	0,248	0,024*	Diferença significativa
H11: CPTD → PMDS → ST	0,124	0,463	Não significativa

Diferenças entre coeficientes Diff e p-value das diferenças dos coeficientes Henseler's MGA: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

H1: CPTD → PMDS

A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital tem impacto significativo na *Prontidão da organização para implementar mudanças digitais significativas*. Esta relação é mais forte no grupo G1 (Agricultura e Mar), com um coeficiente diferencial significativo ($p = 0,016$). Em setores com menor maturidade digital, como o setor primário, a percepção da transformação digital constitui o ponto de partida para a modernização tecnológica. Como refere Hrustek (2020, p. 5), “a agricultura, na maioria dos países da UE, ainda se encontra na fase inicial da transformação digital, carecendo de uma estratégia digital integrada”. A adoção de tecnologias emergentes depende fortemente de fatores internos, como a capacidade tecnológica, os processos de gestão, o capital humano e a cultura corporativa (Michelotto & Joia, 2024, p. 3295).

H2: CPTD → AVEL

A *Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital* influencia significativamente o *Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança*, sendo esta relação mais forte no grupo G2 (Agroindústria, Logística e Tecnologia) ($p = 0,001$). Nestes setores, tecnologicamente mais maduros, a liderança digital atua como facilitadora da transformação, promovendo estruturas ágeis e orientadas à inovação (AlNuaimi & Singh, 2022). A integração eficaz da digitalização nas estratégias empresariais depende da capacidade dos líderes em traduzir percepções em ação, articulando tecnologia, cultura e objetivos de negócio (Imran *et al.*, 2021; Maroufkhani *et al.*, 2022).

H5: PMDS → ISRS

A *Prontidão para Mudança Digital* influencia positivamente a *Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social*, com maior impacto no grupo G1 ($p = 0,026$). A literatura indica que, em contextos tradicionais, como o agrícola, a digitalização permite ganhos relevantes em produtividade e sustentabilidade, desde que exista um nível adequado de prontidão tecnológica e estratégica (Ha, 2023; Hrustek, 2020). Assim, a prontidão digital surge como uma condição indispensável para a transição para práticas sustentáveis (Martínez-Peláez *et al.*, 2023).

H9: CPTD → AVEL → ST

O *Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança* medeia a relação entre *Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital* e a *Satisfação com as Tecnologias da Indústria 4.0*, com maior relevância no grupo G2 ($p = 0,021$). Em setores com maior maturidade digital, o alinhamento entre estratégia e tecnologia é determinante para o sucesso da transformação e para ganhos em desempenho e satisfação (Attah *et al.*, 2024; Canhoto *et al.*, 2021). A liderança digital eficaz reforça a capacidade de traduzir a visão estratégica em benefícios concretos de inovação e utilização tecnológicas (W. Li *et al.*, 2016; Xie, 2024).

H10: CPTD → PMDS → ISRS

A *Prontidão para Mudança Digital* medeia a relação entre *Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital* e *Importância atribuída à Sustentabilidade*, com efeito mais forte no grupo G1 ($p = 0,024$). Em setores menos digitalizados, a prontidão digital representa um fator crítico para operacionalizar a sustentabilidade, transformando intenções estratégicas em ações concretas (Feroz *et al.*, 2021; Ghrbeia & Alzubi, 2024).

A adoção de tecnologias no setor agrícola e marítimo tem contribuído para práticas ambientalmente responsáveis e resilientes (Hrustek, 2020; Martínez-Peláez *et al.*, 2023).

Dimensão da Organização (PLS-MGA)

Com o objetivo de compreender se a dimensão da organização influencia a forma como as variáveis se relacionam no modelo, foi realizada uma análise multigrupo (PLS-MGA), segmentada entre:

D1: “Médias e Grandes Empresas”; e **D2:** “Micro e Pequenas Empresas”.

Os resultados apresentados na Tabela 7 revelam a existência de diferenças estatisticamente significativas em três das onze hipóteses testadas (H2, H5 e H10). Estes resultados indicam que a escala organizacional afeta a força de determinadas relações estruturais do modelo, sugerindo que a maturidade, os recursos e a complexidade operacional inerentes à dimensão da empresa influenciam a forma como as organizações percebem e operacionalizam os processos de transformação digital, a liderança estratégica e a sustentabilidade.

Tabela 7. Resultados da análise multigrupo por dimensão da organização (D1 vs. D2)

Hipóteses	Diff (D1 - D2)	p value	Decisão
H1: CPTD → PMDS	-0,069	0,426	Não significativa
H2: CPTD → AVEL	0,317	0,003**	Diferença significativa
H3: AVEL → ISRS	0,002	0,991	Não significativa
H4: AVEL → ST	-0,186	0,372	Não significativa
H5: PMDS → ISRS	-0,386	0,005**	Diferença significativa
H6: PMDS → ST	-0,194	0,371	Não significativa
H7: CPTD → ST	0,357	0,187	Não significativa
H8: CPTD → AVEL → ISRS	0,160	0,170	Não significativa
H9: CPTD → AVEL → ST	-0,087	0,602	Não significativa
H10: CPTD → PMDS → ISRS	-0,265	0,047*	Diferença significativa
H11: CPTD → PMDS → ST	-0,185	0,272	Não significativa

Diferenças entre coeficientes Diff e p-value das diferenças dos coeficientes Henseler's MGA: * p<0.05; ** p<0.01

H2: CPTD → AVEL

A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital tem impacto significativo no Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança. Esta relação foi mais forte nas médias e grandes empresas (D1), alcançando uma diferença estatística significativa (0,317; p = 0,003). Nestas organizações, o alinhamento estratégico da liderança é mais facilmente ativado pela percepção da transformação digital, refletindo maior maturidade digital (Porfirio *et al.*, 2020). Líderes visionários promovem coerência entre missão, estratégia e tecnologia, contribuindo para a resiliência e inovação (W. Li *et al.*, 2016; Soomro & Khan, 2024). A liderança transformacional, apoiada por práticas de gestão inovadoras, reforça um ambiente propício à mudança (Nicolás-Agustín *et al.*, 2021; Philip, 2021).

H5: PMDS → ISRS

A Prontidão para Mudança Digital tem impacto significativo na Importância atribuída à Sustentabilidade e Responsabilidade Social. Com uma diferença significativa de -0,386 (p = 0,005), esta relação mostrou-se mais forte nas micro e pequenas empresas

(D2). Nestes contextos, a prontidão digital desempenha um papel essencial na integração da sustentabilidade nas estratégias empresariais (Gomez-Trujillo & Gonzalez-Perez, 2021; Guandalini, 2022). A combinação de inovação digital e modelos de negócio sustentáveis favorece a vantagem competitiva, a reputação e o impacto social (Katsamakas, 2022; Martínez-Peláez *et al.*, 2023). No entanto, as PME's enfrentam desafios como a escassez de recursos e competências, exigindo políticas de apoio e gestão estratégica para assegurar uma transição equilibrada (Denicolai *et al.*, 2021; I. C. Melo, Alves, *et al.*, 2023; I. C. Melo, Queiroz, *et al.*, 2023).

H10: CPTD → PMDS → ISRS

A Prontidão para Mudança Digital medeia a relação entre a Consciência sobre a Transformação Digital e a Importância atribuída à Sustentabilidade. Esta mediação foi mais significativa nas micro e pequenas empresas ($-0,265$; $p = 0,047$). A prontidão digital, entendida como a capacidade de absorver e aplicar tecnologias, atua como elo entre percepção estratégica e adoção de práticas sustentáveis (Ghrbeia & Alzubi, 2024; Martínez-Peláez *et al.*, 2023). Esta mediação é particularmente relevante quando apoiada por literacia digital, capacidade analítica e gestão adaptativa. Contudo, desafios estruturais exigem mudanças culturais que legitimem a digitalização como motor de desenvolvimento sustentável (Rupeika-Apoga & Petrovska, 2022).

Tempo no Mercado (PLS-MGA)

Com o objetivo de compreender se o tempo de atividade da organização influencia a forma como as variáveis se relacionam no modelo, foi realizada uma análise multigrupo (PLS-MGA), segmentada entre:

T1: “20 anos ou menos”; e **T2:** “mais de 20 anos”.

Conforme apresentado na Tabela 8, a análise PLS-MGA permitiu verificar diferenças significativas nos coeficientes dos caminhos entre os dois grupos. Quatro relações demonstraram diferenças estatisticamente significativas, sugerindo que o tempo no mercado influencia a forma como determinados construtos se relacionam. Estas diferenças sugerem que organizações mais recentes tendem a estabelecer relações mais diretas e eficazes entre transformação digital e sustentabilidade, ao passo que organizações mais antigas podem apresentar estruturas mais consolidadas, mas menos ágeis na integração entre os construtos.

Tabela 8. Resultados da análise multigrupo por tempo no mercado (T1 vs. T2)

Hipóteses	Diff (T1 - T2)	p value	Decisão
H1: CPTD -> PMDS	-0,135	0,062*	Diferença significativa
H2: CPTD -> AVEL	-0,027	0,833	Não significativa
H3: AVEL -> ISRS	-0,01	0,878	Não significativa
H4: AVEL -> ST	-0,061	0,745	Não significativa
H5: PMDS -> ISRS	0,335	0,008**	Diferença significativa
H6: PMDS -> ST	-0,225	0,157	Não significativa
H7: CPTD -> ST	0,442	0,044*	Diferença significativa
H8: CPTD -> AVEL -> ISRS	-0,026	0,806	Não significativa
H9: CPTD -> AVEL -> ST	-0,041	0,715	Não significativa
H10: CPTD -> PMDS -> ISRS	0,265	0,005**	Diferença significativa
H11: CPTD -> PMDS -> ST	-0,247	0,068	Não significativa

Diferenças entre coeficientes Diff e p-value das diferenças dos coeficientes Henseler's MGA: * p<0.05; ** p<0.01

H1 (CPTD → PMDS):

A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital tem impacto significativo na Prontidão para a Mudança Digital. Esta relação mostrou-se marginalmente mais forte nas organizações mais antigas (T2), com uma diferença de -0,135 ($p = 0,062$). Em entidades com mais de 20 anos, a percepção digital funciona como alicerce estratégico para reconfigurar estruturas e processos, especialmente em setores tradicionais (Warner & Wäger, 2019). A maturidade organizacional e a necessidade de adaptação a contextos dinâmicos tornam a prontidão digital uma prioridade para manter a competitividade e acelerar a transformação tecnológica (Michelotto & Joia, 2024).

H5 (PMDS → ISRS):

A Prontidão para a Mudança Digital tem impacto significativo na Importância atribuída à Sustentabilidade. A relação foi mais forte nas organizações mais jovens (T1), com um diferencial de 0,335 ($p = 0,008$). Nestas entidades, o ponto de partida digital tem um papel estratégico na integração de práticas sustentáveis, promovendo agilidade, inovação e criação de valor nos campos ambiental, social e económico (Guandalini, 2022; Martínez-Peláez *et al.*, 2023). A literatura reforça que estas organizações são mais eficazes na incorporação da sustentabilidade, desde que desenvolvam competências digitais e envolvam *stakeholders* no processo de transformação (Oliveira & Gomes, 2024a, 2024b).

H7 (CPTD → ST):

A Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital tem impacto direto na Satisfação com as Tecnologias. A relação foi significativamente mais forte no grupo T1 ($p = 0,044$), indicando que organizações com menor tempo de mercado associam mais diretamente transformação digital e tecnologias sustentáveis. Esta ligação reflete uma cultura de inovação e adaptação típica de empresas mais recentes, que beneficiam de

maior flexibilidade para adotar tecnologias da Indústria 4.0 (Hilali *et al.*, 2020; Stroumpoulis & Kopanaki, 2022). A digitalização é, assim, um vetor de diferenciação estratégica com impactos positivos na reputação e desempenho sustentável (Alojail & Khan, 2023).

H10 (CPTD → PMDS → ISRS):

A Prontidão para a Mudança Digital medeia a relação entre a Consciência sobre a Transformação Digital e a Sustentabilidade. Esta mediação foi mais significativa no grupo T1 ($p = 0,005$), revelando que empresas mais jovens estabelecem uma ligação mais eficaz entre percepção digital, prontidão e práticas sustentáveis (Veseli *et al.*, 2025). A literatura salienta que a prontidão digital, quando suportada por cultura de mudança e competências tecnológicas, potencia o impacto positivo da transformação digital na sustentabilidade organizacional (Ghrbeia & Alzubi, 2024; Höyng & Lau, 2023). Este efeito é particularmente relevante em contextos com maior flexibilidade e orientação para a inovação, como ocorre em empresas com menos de 20 anos (Sharma *et al.*, 2024).

4.3 Estrutura da entrevista e análise qualitativa das respostas

Neste subcapítulo serão analisadas as entrevistas realizadas, com o objetivo de aprofundar a compreensão das dinâmicas organizacionais associadas à digitalização e à sustentabilidade. Tendo em conta a pergunta de partida e a segmentação dos grupos, conforme referido no subcapítulo 3.1, foi construído um guião de entrevista, disponível no Anexo 3. As entrevistas foram organizadas em cinco categorias, sendo analisada, em cada uma delas, a distribuição dos contributos dos entrevistados. Para cada categoria foram definidos quatro construtos uniformes, representando cada um 25% da análise da respetiva categoria, aplicando-se a seguinte fórmula de análise:

$$\text{Porcentagem do construto} = \left(\frac{1}{\text{Número total de construtos na categoria}} \right) \times 100 \quad (1)$$

“Transformação Digital” com quatro construtos: envolvimento com tecnologias digitais; principais desafios técnicos e organizacionais; mudanças operacionais e eficiência interna; e percepção estratégica dos benefícios da digitalização;

“Liderança e Cultura Organizacional” com quatro construtos: envolvimento da liderança na transformação digital; falta de literacia e visão estratégica nas lideranças; impacto da dimensão organizacional na liderança digital; e papel dos técnicos operacionais e das incubadoras como agentes de mudança;

“Sustentabilidade e Responsabilidade Social” com quatro construtos: integração de práticas ESG nas organizações; dependência de políticas públicas e apoios; dificuldades de implementação nas microempresas; e papel da formação e sensibilização;

“Interação com o Ecossistema” com quatro construtos: cooperação entre empresas, academia e governo; barreiras culturais, institucionais e financeiras à colaboração; papel de mediadores, como incubadoras de empresas/I&D e associações; e propostas de melhoria para reforçar as dinâmicas colaborativas;

“Apoios Públicos e Políticas Regionais” com quatro construtos: percepção da eficácia dos fundos do PO Açores 2020 e PRR; barreiras burocráticas e dificuldades no acesso aos apoios; desalinhamento entre apoios e necessidades empresariais; e boas práticas e iniciativas alinhadas com a Indústria 4.0.

Por fim, com base nas entrevistas, também foi utilizada a técnica “Nuvem de Palavras” para a análise dos dados qualitativos, como é apresentado no Anexo 28.

4.3.1 Transformação digital

As abordagens à transformação digital divergem entre os grupos. No Grupo A, a digitalização é incipiente e limitada à presença online, enfrentando obstáculos, como falta de recursos e liderança qualificada. Apesar disso, são referidos ganhos operacionais. Já no Grupo B, observa-se uma estratégia mais consolidada, integrando a digitalização em projetos inovadores, com visão sistémica e alinhamento com objetivos de sustentabilidade e valorização territorial.

4.3.2 Liderança e cultura organizacional

A liderança é pouco envolvida no Grupo A, evidenciando lacunas em literacia digital e visão estratégica, com os técnicos a assumirem, muitas vezes, o papel de agentes de mudança. No Grupo B, as lideranças são mais conscientes, apoiadas por estruturas como incubadoras, embora persistam assimetrias entre organizações bem estruturadas e microempresas.

4.3.3 Sustentabilidade e responsabilidade social

A análise demonstra que a sustentabilidade ainda é encarada de forma desigual entre os grupos. No Grupo A, as práticas sustentáveis são reativas, condicionadas por exigências legais ou apoios. A integração de princípios ESG é reduzida, especialmente nas microempresas. O Grupo B revela maior maturidade, com foco na economia circular e na eficiência dos recursos, mas reconhece que muitas empresas ainda carecem de apoio técnico e sensibilização para avançar.

4.3.4 Interação com o ecossistema

A interação entre empresas, academia e entidades públicas revela-se ainda limitada no Grupo A, onde persistem barreiras estruturais, burocráticas e culturais à colaboração. A distância entre a produção académica e as necessidades práticas do tecido empresarial contribui para esta desconexão. As pequenas empresas, em particular, sentem-se afastadas dos centros de I&D devido aos custos e à complexidade dos processos. Apesar disso, reconhece-se o papel fundamental de estruturas intermediárias, como câmaras de comércio e incubadoras, na promoção da cooperação. Entre as propostas de melhoria, destaca-se a simplificação de apoios e a criação de interlocutores permanentes entre os setores. No Grupo B, a articulação com o ecossistema de inovação é mais desenvolvida, refletindo uma maior integração entre universidades, empresas e estruturas públicas. São valorizadas as incubadoras, as redes de inovação e os parques tecnológicos, como o TERINOV e o NONAGON, que facilitam a transferência de conhecimento. Contudo, persistem desafios, nomeadamente na inclusão de pequenos empresários, na comunicação entre atores e na construção de relações de confiança. É sugerido um maior alinhamento estratégico e a definição de métricas realistas para avaliar a eficácia das parcerias.

4.3.5 Sobre o PO Açores 2020 e o Impacto do PRR

No Grupo A prevalece uma visão crítica sobre a eficácia dos apoios públicos, com destaque para a perceção de que os fundos do PO Açores 2020 e do PRR beneficiam sobretudo, o setor público, negligenciando as necessidades do setor privado. As exigências burocráticas, o cofinanciamento e os critérios de elegibilidade são apontados como obstáculos significativos para as micro e pequenas empresas. Apesar das dificuldades, reconhece-se o potencial transformador de projetos bem desenhados, sobretudo nas áreas da digitalização e sustentabilidade. Já o Grupo B, reconhece o impacto positivo de alguns eixos do PO2020, especialmente nos domínios da inovação e da competitividade. Contudo, também aqui são salientadas limitações relacionadas com a complexidade dos processos, a falta de adaptação dos indicadores às especificidades regionais e as dificuldades de acesso por parte de empresas menos estruturadas. Como boas práticas, são destacadas iniciativas como a Rede Regional de Incubadoras, o TERINOV, o MARTEC e o programa UDE, que demonstram maior capacidade de resposta às necessidades locais e contribuem para a integração das empresas na lógica da Indústria 4.0.

CAPÍTULO V – CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões do trabalho realizado, com base nos resultados obtidos através das análises quantitativa e qualitativa. São ainda discutidas as limitações do estudo, avançadas sugestões para investigações futuras e perspectivas possíveis desenvolvimentos no domínio da Indústria 4.0, com especial enfoque na transição para a indústria 5.0.

A análise quantitativa revelou um panorama heterogéneo na adoção das tecnologias da Indústria 4.0 nos setores estudados. As técnicas estatísticas aplicadas permitiram validar 28 das 36 hipóteses formuladas, evidenciando a influência significativa do setor de atividade, da dimensão organizacional e do tempo de permanência no mercado sobre os construtos analisados.

Um dos principais resultados foi a confirmação do papel central da Consciência e Perceção sobre a Transformação Digital como variável explicativa da maturidade digital. Organizações com maior perceção da importância estratégica da transformação digital tendem a apresentar níveis mais elevados de Prontidão para a Mudança Digital e de Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança, refletindo maior coesão interna e preparação para mudanças tecnológicas.

Conclui-se, pois, que a perceção estratégica da transformação digital constitui um fator mobilizador do desenvolvimento organizacional. Organizações que reconhecem a importância da digitalização revelam maior capacidade de planear, alinhar e operacionalizar mudanças, potenciando a inovação e a integração tecnológica.

A liderança mostrou ser determinante na integração de práticas de sustentabilidade e responsabilidade social. Quando existe alinhamento entre a liderança e a visão digital, há maior propensão para incorporar preocupações ambientais e sociais na estratégia empresarial. A prontidão e a visão da liderança também desempenham um papel mediador em várias relações do modelo, reforçando a importância da liderança e da preparação organizacional na articulação entre transformação digital e sustentabilidade.

Verificou-se, ainda, que as microempresas e os setores primários, enfrentam maior resistência na adoção de tecnologias da Indústria 4.0, devido à escassez de recursos, à menor prontidão digital e ao fraco alinhamento estratégico. Em contraste, organizações de maior dimensão ou inseridas em setores mais avançados apresentam maior maturidade digital, satisfação tecnológica e predisposição para a inovação. Estes dados reforçam a necessidade de políticas ajustadas à realidade de cada perfil organizacional.

As condições internas e contextuais das organizações — dimensão, setor e tempo de existência — influenciam a forma como estas encaram a transformação digital. Enquanto microempresas e setores primários enfrentam mais constrangimentos, empresas recentes ou com maior capacidade instalada demonstram maior agilidade e abertura à inovação. A maturidade digital depende não só da tecnologia, mas também da estratégia, da liderança e do contexto.

Por seu turno, a análise multigrupo (PLS-MGA) confirmou diferenças relevantes entre setores de atividade, perfis organizacionais e níveis de maturidade digital, demonstrando que a transformação digital não ocorre de forma linear ou homogênea. Em vez disso, seguem-se trajetórias diferenciadas, moldadas por fatores como a dimensão da organização, o segmento, o tempo de atividade e os recursos disponíveis. Esta diversidade sublinha a importância de adotar estratégias contextualmente sensíveis, capazes de responder às realidades específicas de cada organização. Torna-se, por isso, fundamental promover abordagens flexíveis e diferenciadas, ajustadas às potencialidades e constrangimentos de cada setor, incentivando o desenvolvimento gradual da maturidade digital e da sustentabilidade, a partir de bases realistas e consistentes com a sua realidade operacional.

Na análise qualitativa, as entrevistas relevam contrastes entre os dois grupos de organizações. No Grupo A, a digitalização está numa fase embrionária, com limitações financeiras, técnicas e de liderança, enquanto a sustentabilidade surge associada a exigências legais ou a incentivos públicos, não estando integrada nas estratégias de longo prazo.

O Grupo B apresenta maior maturidade tecnológica e preocupação estratégica com a sustentabilidade, embora enfrente dificuldades na articulação com o tecido empresarial local e na operacionalização dos apoios públicos. Ambos os grupos convergem numa crítica à burocracia, ao desalinhamento dos avisos com as necessidades reais das empresas e à desigualdade no acesso aos incentivos.

As organizações encaram a transformação digital e a sustentabilidade de forma desigual, influenciadas pela sua dimensão, maturidade e adequação dos apoios disponíveis. No Grupo A, os processos de digitalização enfrentam bloqueios estruturais e a sustentabilidade depende de incentivos externos. No Grupo B, existe maior capacidade de ação, mas persistem dificuldades na articulação com o setor privado e no acesso a financiamento à inovação.

Face a este panorama, é evidente que a implementação efetiva da digitalização e da sustentabilidade exige reforço de apoio técnico, qualificação das lideranças e maior adaptação das políticas públicas ao contexto regional.

Neste sentido, a perspetiva do Estado Empreendedor, conforme defendido por Mazzucato, (2018, pp. 806–807), é particularmente pertinente. O Estado deve assumir um papel proativo na criação de mercados, no desenvolvimento de infraestruturas digitais, no financiamento de iniciativas-piloto, na capacitação de lideranças e na partilha de riscos com os agentes privados. Este estudo reforça essa visão: perante os constrangimentos das microempresas, o Estado deve atuar como catalisador da inovação, promovendo ambientes colaborativos e desenvolvendo infraestruturas digitais adaptadas às especificidades regionais.

Entre as limitações do estudo destaca-se a dimensão e composição da amostra, que pode não refletir toda a diversidade empresarial regional, sobretudo em ilhas periféricas. Também o número de entrevistas e a simplificação de certos construtos — como maturidade digital ou tecnologias emergentes — limitam a generalização e profundidade da análise. A abordagem ao conceito de ESG centrou-se nas entrevistas, dado o seu reduzido reconhecimento entre o público-alvo. Importa, ainda, realçar que, por tratar de um conceito ainda recente, algumas organizações demonstraram reserva em partilhar informações sobre o que estão a desenvolver, optando por não responder às tentativas de contacto realizadas no âmbito da investigação.

Sugere-se o alargamento do estudo a outros domínios da RIS3 Açores, como Turismo, Saúde ou Espaço e Ciência de Dados; a realização de estudos longitudinais que acompanhem a evolução da maturidade digital; e o aprofundamento da análise sobre competências digitais de liderança. Propõe-se também a avaliação do impacto efetivo dos projetos financiados pelos PRR, PO Açores 2020 e ProRural, e a análise dos efeitos da digitalização nas dinâmicas laborais, com especial enfoque na requalificação profissional, na inclusão digital e na reorganização do trabalho.

Embora o setor da construção civil não esteja atualmente incluído nos domínios prioritários da RIS3 Açores, a sua integração merece ser refletida. Trata-se de um setor com peso económico e social relevante. De facto, segundo dados do INE (2024a), são 1.913 empresas com 8.366 trabalhadores, com potencial para adotar tecnologias digitais e práticas sustentáveis. A sua inclusão poderá favorecer a modernização tecnológica, a produtividade e a redução do impacto ambiental no âmbito da sua integração na

contratação pública ecológica, alinhando-se com princípios de inovação orientada para missões (Mazzucato, 2018, p. 806).

A transição da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0 representa um novo paradigma organizacional, centrado na personalização, na cooperação entre humanos e máquinas, na sustentabilidade e na resiliência. Este modelo requer a integração de valores sociais e éticos nos processos tecnológicos, o desenvolvimento de competências emergentes e a adoção de tecnologias disruptivas em ecossistemas como os Açores. Além disso, a Indústria 5.0 enfatiza um design organizacional centrado nas pessoas, a convergência de tecnologias avançadas e a construção de economias regenerativas. A implementação deste novo modelo exige, também, o reforço da capacitação digital, o fortalecimento de cadeias de valor locais resilientes e uma governação pública mais ágil e territorialmente adaptada.

A Região Autónoma dos Açores tem potencial para se afirmar como um laboratório vivo da Indústria 5.0, desde que exista uma evolução integrada das suas estruturas políticas, institucionais e culturais. Para tal, é essencial que o impulso transformador destas revoluções industriais seja transversal e sistémico, com impacto desde o sistema educativo até às dinâmicas empresariais, contribuindo para um desenvolvimento regional harmónico e inclusivo.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Inovação - ZLT. (2023). ANI. <https://ani.pt/zonas-livres-tecnologicas/>
- Akpan, I. J., & Offodile, O. F. (2024). The role of virtual reality simulation in manufacturing in Industry 4.0. *Systems*, 12(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.3390/systems12010026>
- Alcácer, V., Rodrigues, C., Carvalho, H., & Cruz-Machado, V. (2021). Tracking the maturity of industry 4.0: The perspective of a real scenario. *The International Journal, Advanced Manufacturing Technology*, 116, 2161–2181. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07550-0>
- AlNuaimi, B., & Singh, S. R. S. B. P. V. D. K. (2022). Mastering digital transformation: The nexus between leadership, agility, and digital strategy. *Journal of Business Research*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.03.038>
- Alojail, M., & Khan, S. (2023). Impact of digital transformation toward sustainable development. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su152014697>
- Alvarez-Palau, E., Bogart, D., Satchell, M., & Shaw-Taylor, L. (2024). Transport and urban growth in the first industrial revolution. *The Economic Journal*. <https://doi.org/10.1093/ej/ueae111>
- Ardiansyah, M., & Alnoor, A. (2024). Integrating corporate social responsibility into business strategy: Creating sustainable value. *Involvement International Journal of Business*. <https://doi.org/10.62569/ijb.v1i1.5>
- Asiaei, K., Bontis, N., Barani, O., & Jusoh, R. (2021). Corporate social responsibility and sustainability performance measurement systems: Implications for organizational performance. *Journal of Management Control*, 32, 85–126. <https://doi.org/10.1007/s00187-021-00317-4>
- Attah, R. U., Garba, B. M. P., Gil-Ozoudeh, I., & Iwuanyanwu, O. (2024). Strategic frameworks for digital transformation across logistics and energy sectors: Bridging technology with business strategy. *Open Access Research Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.53022/oarjst.2024.12.2.0142>
- Ávila, M., Pinelo, J., Casas, E., Capinha, C., Pabst, R., Szczesniak, I., Domingues, E., Pinto, C., Santos, V., Gil, A., & Arbelo, M. (2024). Assessing the presence of *Pithomyces chartarum* in pastureland using IoT sensors and remote sensing: The case study of Terceira Island (Azores, Portugal). *Sensors*, 24(14), Artigo 14. <https://doi.org/10.3390/s24144485>
- Babbar, G., & Bhushan, B. (2020). Framework and methodological solutions for cyber security in Industry 4.0 (SSRN Scholarly Paper 3601513). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3601513>

- Bag, S., Yadav, G., Dhamija, P., & Kataria, K. K. (2021). Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125233. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125233>
- Baierle, I. C., Da Silva, F. T., De Faria Corrêa, R. G., Schaefer, J., & Da Costa, M. B. (2022). Competitiveness of food industry in the era of digital transformation towards agriculture 4.0. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su141811779>
- Barzotto, M., Corradini, C., Fai, F., Labory, S., & Tomlinson, P. (2020). Smart specialisation, Industry 4.0 and lagging regions: Some directions for policy. *Regional Studies, Regional Science*, 7, 318–332. <https://doi.org/10.1080/21681376.2020.1803124>
- Bianchi, P., & Labory, S. (2017). Manufacturing regimes and transitional paths: Lessons for industrial policy. *Structural Change and Economic Dynamics*. <https://doi.org/10.1016/J.STRUECO.2017.10.003>
- Bloom, R., Crapster, B., & Dunkelberger, H. (2016). The second industrial revolution. [https://doi.org/10.1016/s1369-7021\(02\)00920-3](https://doi.org/10.1016/s1369-7021(02)00920-3)
- Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., & Alazab, M. (2020). Blockchain for Industry 4.0: A comprehensive review. *IEEE Access*, 8, 79764–79800. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988579>
- Brundtland, G. H. (1987). *Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development—UN-Dokument A/42/427*. United Nations. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Bunjak, A., Bruch, H., & Černe, M. (2022). Context is key: The joint roles of transformational and shared leadership and management innovation in predicting employee IT innovation adoption. *International Journal of Information Management*, 66, 102516. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102516>
- Camarinha-Matos, L. M., Rocha, A. D., & Graça, P. (2024). Collaborative approaches in sustainable and resilient manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35(2), 499–519. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02060-6>
- Canhoto, A., Quinton, S., Pera, R., Molinillo, S., & Simkin, L. (2021). Digital strategy aligning in SMEs: A dynamic capabilities perspective. *Journal of Strategic Information Systems*, 30, 101682. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2021.101682>
- Chapron, G. (2017). The environment needs cryptogovernance. *Nature*, 545(7655), 403–405. <https://doi.org/10.1038/545403a>
- Chaudhuri, F. (2016, setembro 19). Tracking tuna from catch to customer. *Provenance*. <https://www.provenance.org/news-insights/tracking-tuna-catch-customer>

- Cho, H. S., & Woo, T. H. (2017). Cyber security in nuclear industry – Analytic study from the terror incident in nuclear power plants (NPPs). *Annals of Nuclear Energy*, 99, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.09.024>
- Christensen, C. M. (1997). *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business School Press.
- Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12, 492. <https://doi.org/10.3390/su12020492>
- Çınar, Z., Nuhu, A. A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M. B. A., & Safaei, B. (2020). Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in Industry 4.0. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12198211>
- Coelho, P. R. (2022). *Avaliar o nível de maturidade/prontidão para Indústria 4.0 para empresas do Polo Industrial de Manaus (PIM): Um estudo de caso* [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]. <https://hdl.handle.net/1822/83114>
- Coleman, D. (1956). Industrial growth and industrial revolutions. *Economica*, 23, 1. <https://doi.org/10.2307/2551266>
- Colombo, G., De Arruda Ignácio, P. S., & Botene, P. (2021). Blockchain technology and Industry 4.0 at autonomous vehicles: A literature review. https://doi.org/10.14488/enegep2021_ti_st_357_1845_42489
- Cook, B., & Zealand, W. N. (2018). Blockchain: Transforming the seafood supply chain. *World Wide Fund for Nature*, 501-508.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Cruz, B. I., & Brás, D. M. (2024). *Sustentabilidade*. Tinta da China.
- Cui, Y., Kara, S., & Chan, K. C. (2020). Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 62, 101861. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101861>
- Custodian—A tracking system for more sustainable fishing. (2022). *AIR Centre | Atlantic International Research Centre*. <https://www.aircentre.org/projects/custodian/>
- Da Fonseca, L. M. C. M., Pereira, T., Oliveira, M., Ferreira, F., & Buşu, M. (2024). Manufacturing companies Industry 4.0 maturity level: A multivariate analysis. *Journal of Industrial Engineering and Management*. <https://doi.org/10.3926/jiem.6333>

- De Almeida, A., Alvarenga, P., & Figueiro, D. (2020). The dairy sector in the Azores Islands: Possibilities and main constraints towards increased added value. *Tropical Animal Health and Production*, 53. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02442-z>
- De Jesus, C., & Lima, R. (2021). Study of the Portuguese challenges in the context of European Union to identify adaptation strategies for the Industry 4.0. *Innovations in Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78170-5_3
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- De Propriis, L., & Bailey, D. (Eds.). (2020). *Industry 4.0 and regional transformations*. Taylor & Francis. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/37355>
- Deane, P. (1966). The first industrial revolution. <https://doi.org/10.2307/1848244>
- Denicolai, S., Zucchella, A., & Magnani, G. (2021). Internationalization, digitalization, and sustainability: Are SMEs ready? A survey on synergies and substituting effects among growth paths. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120650. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2021.120650>
- Duman, M. Ç., & Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2021.120615>
- Dyba, W., Di Maria, E., & Chiarvesio, M. (2022). Actions fostering the adoption of Industry 4.0 technologies in manufacturing companies in European regions. <https://doi.org/10.38191/iirr-jorr.22.009>
- Dzedzickis, A., Subačiūtė-Žemaitienė, J., Šutinys, E., Samukaitė-Bubnienė, U., & Bučinskas, V. (2022). Advanced applications of industrial robotics: New trends and possibilities. *Applied Sciences*, 12(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.3390/app12010135>
- 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. *Applied Sciences*, 12(14), Artigo 14. <https://doi.org/10.3390/app12146986>
- Ed-Dafali, S., Azad, S. A., Mohiuddin, M., & Reza, M. (2023). Strategic orientations, organizational ambidexterity, and sustainable competitive advantage: Mediating role of industry 4.0 readiness in emerging markets. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136765>
- Ekionea, J.-P. B., Fillion, G., & Ipepe, L.-D. K. (2024). Using soft system methodology to align digitalization strategies with processes/business strategies: Towards a qualitative

- approach. *International Journal of Business & Management Studies*. <https://doi.org/10.56734/ijbms.v5n4a2>
- Falcão, A. C. R. de A. (2019). *Sistematização dos pilares da Indústria 4.0: Uma análise utilizando revisão bibliográfica sistemática* [Tese de mestrado, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.18.2019.tde-04072019-091814>
- Faria, B. S., Simões, A., & Rodrigues, J. C. (2021). Impact of governmental support for the implementation of Industry 4.0 in Portugal. *Innovations in Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78170-5_11
- Feroz, A., Zo, H., & Chiravuri, A. (2021). Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13031530>
- Fitzsimmons, J. (1994). Information technology and the third industrial revolution. *The Electronic Library*, 12, 295–297. <https://doi.org/10.1108/EB045307>
- Flögel, F., Letonja, M., Meyer, K., Rabadjieva, M., Vilman, Z., Zhekova, R., Zlateva, M., & Butzin, A. (2025). Beyond start-up formation: Effects of entrepreneurial ecosystem support activities for developing lagging regions. *Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit*. <https://doi.org/10.1177/02690942241311805>
- 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>
- Freiheit, R., & Leão, T. (2022). Fed up: A qualitative investigation on the influencing factors of food insecurity in the Azores. *The European Journal of Public Health*, 32. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckac130.105>
- Freire, C. (2021, agosto 12). The impact of frontier technologies on inequalities across countries. *Industrial Analytics Platform*. <https://iap.unido.org/articles/impact-frontier-technologies-inequalities-across-countries>
- Gfrerer, A., Hutter, K., Füller, J., & Ströhle, T. (2020). Ready or not: Managers' and employees' different perceptions of digital readiness. *California Management Review*, 63, 23–48. <https://doi.org/10.1177/0008125620977487>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Morales, M. (2021). Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. *Journal of Cleaner Production*, 302, 127052. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>

- Ghobakhloo, M., & Iranmanesh, M. (2021). Digital transformation success under Industry 4.0: A strategic guideline for manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2020-0455>
- Ghrbeia, S. B., & Alzubi, A. (2024). Building micro-foundations for digital transformation: A moderated mediation model of the interplay between digital literacy and digital transformation. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16093749>
- Gomes, J. G., Sammarchi, S., Yang, Q., Yang, T., Chong, C. T., Sousa, A. M., Lim, J., & Li, J. (2025). Maximising sustainability: Planning and optimization strategies for achieving 100% renewable energy communities in remote islands—A case study of Corvo Island, Portugal. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134802>
- Gomez-Trujillo, A. M., & Gonzalez-Perez, M. (2021). Digital transformation as a strategy to reach sustainability. *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-01-2021-0011>
- Govindan, K. (2022). Theory building through corporate social responsibility 4.0 for achieving SDGs: A practical step toward integration of digitalization with practice-based view and social good theory. *IEEE Transactions on Engineering Management, PP*, 1–18. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3155247>
- Govindan, K., & Arampatzis, G. (2023). A framework to measure readiness and barriers for the implementation of Industry 4.0: A case approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59, 101249. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101249>
- Gualtieri, L., Rojas, R., Carabin, G., Palomba, I., Rauch, E., Vidoni, R., & Matt, D. T. (2018). Advanced automation for SMEs in the I4.0 revolution: Engineering education and employees training in the smart mini factory laboratory. In *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1111–1115). <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607719>
- Guandalini, I. (2022). Sustainability through digital transformation: A systematic literature review for research guidance. *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.003>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Guimarães, C., Li, X., Papagianni, C., Mangués-Bafalluy, J., Contreras, L., Garcia-Saavedra, A., Brenes, J., Cristobal, D. S., Alonso-Zarate, J., Zabala, A., Kainulainen, J.-P., Mourad, A., Lorenzo, M., & Bernardos, C. (2021). Public and non-public network integration for 5Growth Industry 4.0 use cases. *IEEE Communications Magazine*, 59, 108–114. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2000853>

- Ha, L. (2023). An investigation of digital integration's importance on smart and sustainable agriculture in the European region. *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104158>
- Hamad, B. M., & Jawad, M. (2024). The fourth industrial revolution: A historical and conceptual review. *Journal of Economics and Administrative Sciences*. <https://doi.org/10.33095/gh3a7g38>
- Henderikx, M., & Stoffers, J. (2022). An exploratory literature study into digital transformation and leadership: Toward future-proof middle managers. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14020687>
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1), 115–135. <https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8>
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. In R. R. Sinkovics & P. N. Ghauri (Eds.), *Advances in International Marketing* (Vol. 20, pp. 277–319). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014)
- Herceg, I. V., Kuč, V., Mijušković, V., & Herceg, T. (2020). Challenges and driving forces for Industry 4.0 implementation. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12104208>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (pp. 3928–3937). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hilali, W. E., Manouar, A., & Idrissi, M. (2020). Reaching sustainability during a digital transformation: A PLS approach. *International Journal of Innovation Science*, 12, 52–79. <https://doi.org/10.1108/ijis-08-2019-0083>
- Honcharova, Y. (2020). Blockchain as the basis of Industry 4.0. *Herald UNU. International Economic Relations and World Economy*. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-32-2>
- Horizontal and vertical integration in Industry 4.0. (2019, abril). *Manufacturing Business Technology*. <https://www.mbtmag.com/industry-4-0/article/13251083/horizontal-and-vertical-integration-in-industry-40>
- Horváth, D., & Szabó, R. Zs. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Höyng, M., & Lau, A. (2023). Being ready for digital transformation: How to enhance employees' intentional digital readiness. *Computers in Human Behavior Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100314>

- Hrustek, L. (2020). Sustainability driven by agriculture through digital transformation. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12208596>
- Huang, Z., Shen, Y., Li, J., Fey, M., & Brecher, C. (2021). A survey on AI-driven digital twins in Industry 4.0: Smart manufacturing and advanced robotics. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21. <https://doi.org/10.3390/s21196340>
- IAPMEI - Alinhamento do negócio com fatores ESG. (2024, abril 20). IAPMEI. <https://www.iapmei.pt/PRODUTOS-E-SERVICOS/Industria-e-Sustentabilidade/Sustentabilidade/ESG-e-Financas-Sustentaveis/Alinhamento-do-negocio-com-fatores-ESG.aspx>
- Iftekar, S. F., Aabid, A., Amir, A., & Baig, M. (2023). Advancements and limitations in 3D printing materials and technologies: A critical review. *Polymers*, 15(11), Artigo 11. <https://doi.org/10.3390/polym15112519>
- Imran, F., Shahzad, K., Butt, A., & Kantola, J. (2021). Digital transformation of industrial organizations: Toward an integrated framework. *Journal of Change Management*, 21, 451–479. <https://doi.org/10.1080/14697017.2021.1929406>
- Industry 4.0 | Think Tank | Parlamento Europeu. (2016). *Industry 4.0* (Relatório IPOL_STU(2016)570007). Parlamento Europeu. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/pt/document/IPOL_STU\(2016\)570007](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/pt/document/IPOL_STU(2016)570007)
- INE. (2024a). Empresas (n.º) por localização geográfica (NUTS - 2024) e escalão de pessoal ao serviço; empresas (n.º) por localização geográfica (NUTS - 2024) e dimensão; empresas (n.º) por localização geográfica (NUTS - 2024), atividade económica (subclasse—CAE Rev. 3) e forma jurídica [Sistema de Contas Integradas das Empresas]. Instituto Nacional de Estatística. <https://www.ine.pt>
- INE. (2024b). Rácio entre a despesa em desenvolvimento e o volume de negócios das empresas com menos de 250 pessoas ao serviço das indústrias transformadoras (CAE Rev. 3—%) por localização geográfica (NUTS - 2024); anual [Sistema de Contas Integradas das Empresas]. Instituto Nacional de Estatística. <https://www.ine.pt>
- Jankowska, B., Mińska-Struzik, E., Bartosik-Purgat, M., Götz, M., & Olejnik, I. (2023). Industry 4.0 technologies adoption: Barriers and their impact on Polish companies' innovation performance. *European Planning Studies*, 31, 1029–1049. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2068347>
- Javaid, M., Haleem, A., Rab, S., Singh, R., Suman, R., & Mohan, S. (2022). Progressive schema of 5G for Industry 4.0: Features, enablers, and services. *Industrial Robot*, 49, 527–543. <https://doi.org/10.1108/ir-10-2021-0226>
- Jiang, M. (2024). A review of the impacts of industrial revolutions in world history. *Communications in Humanities Research*. <https://doi.org/10.54254/2753-7064/39/20242245>

- João, M. I. (1992). Economia e desenvolvimento dos Açores numa perspectiva histórica. *Boletim do Instituto Histórico da Ilha Terceira*. <https://portal.issn.org/resource/ISSN/0870-466X#>
- Katsamakas, E. (2022). Digital transformation and sustainable business models. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14116414>
- Khalid, H., Hashim, S. J., Ahmad, S. M., Hashim, F., & Chaudary, M. A. (2020). Cybersecurity in Industry 4.0 context: Background, issues, and future directions. In W. Y. Leong, J. H. Chuah, & B. T. Tee (Eds.), *The nine pillars of technologies for Industry 4.0* (pp. 263–307). Institution of Engineering and Technology. https://doi.org/10.1049/PBTE088E_ch14
- Khan, A. (2024). The emergence of the fourth industrial revolution and its impact on international trade. *ASR: Chiang Mai University Journal of Social Sciences and Humanities*. <https://doi.org/10.12982/cmujasr.2024.007>
- Khan, N., Yaqoob, I., Hashem, I. A. T., Inayat, Z., Mahmoud Ali, W. K., Alam, M., Shiraz, M., & Gani, A. (2014). Big data: Survey, technologies, opportunities, and challenges. *The Scientific World Journal*, 2014, e712826. <https://doi.org/10.1155/2014/712826>
- Khudokormov, A. (2022). History of the second industrial revolution. *Scientific Research of Faculty of Economics. Electronic Journal*. <https://doi.org/10.38050/2078-3809-2022-14-4-24-41>
- Khurniawan, A. W., Irmawaty, & Supriadi, D. (2024). The impact of digital leadership on digital transformation in university organizations: An analysis of students' views. *Perspectives of Science and Education*. <https://doi.org/10.32744/pse.2024.1.38>
- Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V., & Antunes, J. A. D. V. (2022). Industry 4.0: What makes it a revolution? A historical framework to understand the phenomenon. *Technology in Society*. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102009>
- Knox, S., & Arshed, N. (2021). Network governance and coordination of a regional entrepreneurial ecosystem. *Regional Studies*, 56, 1161–1175. <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1988067>
- Kolin, K. (2021). The third industrial revolution: On the issue of definition. *Uchenyy Sovet (Academic Council)*. <https://doi.org/10.33920/nik-02-2109-01>
- Kotler, P., Kartajaya, H., Setiawan, I., & Fontenelle, A. (2021). *Marketing 5.0*. Editora Sextante.
- Kumar, A., Kumar, A., & Behura, A. K. (2022). The strategic corporate social responsibility (CSR) for sustainable corporate (business). *WISDOM*. <https://doi.org/10.24234/wisdom.v23i3.855>

- Kumar, L., & Sharma, R. (2025). Adapting to Industry 4.0: Evaluating SMEs preparedness through a comprehensive digital readiness assessment maturity model by validating stakeholders' perceptions. *Business Process Management Journal*. <https://doi.org/10.1108/bpmj-07-2024-0546>
- Kushnirenko, O. (2021). The prerequisites for the emergence of industrial revolutions. *İstoriâ narodnogo gospodarstva ta ekonomičnoi dumki Ukraïni*. <https://doi.org/10.15407/ingedu2021.54.264>
- Lee, J., & Meng, J. (2021). Digital competencies in communication management: A conceptual framework of readiness for Industry 4.0 for communication professionals in the workplace. *Journal of Communication Management*. <https://doi.org/10.1108/jcom-10-2020-0116>
- Lepore, D., & Spigarelli, F. (2020). Integrating Industry 4.0 plans into regional innovation strategies. *Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit*, 35, 496–510. <https://doi.org/10.1177/0269094220937452>
- Li, G., Hou, Y., & Wu, A. (2017). Fourth industrial revolution: Technological drivers, impacts and coping methods. *Chinese Geographical Science*, 27, 626–637. <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0890-x>
- Li, W., Liu, K., Belitski, M., Ghobadian, A., & O'Regan, N. (2016). e-Leadership through strategic alignment: An empirical study of small- and medium-sized enterprises in the digital age. *Journal of Information Technology*, 31, 185–206. <https://doi.org/10.1057/jit.2016.10>
- Li, X., Li, D., Wan, J., Vasilakos, A., Lai, C.-F., & Wang, S. (2015). A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless Networks*, 23, 23–41. <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7>
- Liang, Q., Xiang, S., Hu, Y., Coppola, G., Zhang, D., & Sun, W. (2019). PD2SE-Net: Computer-assisted plant disease diagnosis and severity estimation network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 518–529. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.034>
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0-Readiness*. Frankfurt: IMPULS-Stiftung.
- Liou, Y.-H., & Daly, A. (2020). Obstacles and opportunities for networked practice: A social network analysis of an inter-organizational STEM ecosystem. *Journal of Educational Administration*. <https://doi.org/10.1108/jea-02-2020-0041>
- Liu, L., Song, W., & Liu, Y. (2023). Leveraging digital capabilities toward a circular economy: Reinforcing sustainable supply chain management with Industry 4.0

- technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 178, 109113. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109113>
- Liu, Y., Shu, L., Hancke, G., & Abu-Mahfouz, A. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17, 4322–4334. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Liu, Y., & Xu, X. (2016). Industry 4.0 and cloud manufacturing: A comparative analysis. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139(034701). <https://doi.org/10.1115/1.4034667>
- Lopes, J., Gomes, S., Ferreira, J. J. M., & Dabić, M. (2025). Driving regional advancement: Exploring the impact of science and technology parks in the outermost regions of Europe. *European Journal of Innovation Management*. <https://doi.org/10.1108/ejim-03-2024-0278>
- Lu, J., Ren, L., Zhang, C., Rong, D., Ahmed, R., & Streimikis, J. (2020). Modified Carroll's pyramid of corporate social responsibility to enhance organizational performance of SMEs industry. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122456>
- Macedo, R. L., De Souza, M. C. A., Santos, M. E. D., & De Alencar, D. B. (2020). Artificial intelligence as the brain of Industry 4.0. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. <https://doi.org/10.22161/ijaers.74.48>
- Madsen, H., & Ulhøi, J. (2021). Sustainable visioning: Re-framing strategic vision to enable a sustainable corporate transformation. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125602>
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Hung Byers, A. (2021). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. *McKinsey & Company*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>
- Marcon, É., Soliman, M., Gerstlberger, W., & Frank, A. (2021). Sociotechnical factors and Industry 4.0: An integrative perspective for the adoption of smart manufacturing technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/jmtm-01-2021-0017>
- Maroufkhani, P., Desouza, K., Perrons, R., & Iranmanesh, M. (2022). Digital transformation in the resource and energy sectors: A systematic review. *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102622>
- Martínez-Peláez, R., Ochoa-Brust, A., Rivera, S., Félix, V., Ostos, R., Brito, H., Félix, R., & Mena, L. (2023). Role of digital transformation for achieving sustainability: Mediated role of stakeholders, key capabilities, and technology. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su151411221>

- Martins, N. O. (2022, agosto 15). Organizar a produção de forma sustentável. *O Jornal Económico*. <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/organizar-a-producao-de-forma-sustentavel/>
- Martins, N. O. (2024, fevereiro 19). O planeamento em economia. *O Jornal Económico*. <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/o-planeamento-em-economia/>
- Mazzucato, M. (2014). *O estado empreendedor: Desmascarando o mito do setor público vs setor privado*. Companhia Digital.
- Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policies: Challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 803–815. <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>
- McCarthy, P., Sammon, D., & Alhassan, I. (2021). Digital transformation leadership characteristics: A literature analysis. *Journal of Decision Systems*, 32, 79–109. <https://doi.org/10.1080/12460125.2021.1908934>
- Melo, I. C., Alves, P. N., Queiroz, G., Yushimito, W., & Pereira, J. (2023). Do we consider sustainability when we measure small and medium enterprises' (SMEs') performance passing through digital transformation? *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15064917>
- Melo, I. C., Queiroz, G., Alves, P. N., De Sousa, T. B., Yushimito, W., & Pereira, J. (2023). Sustainable digital transformation in small and medium enterprises (SMEs): A review on performance. *Heliyon*, 9, e13908. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13908>
- Melo, I., & Torres, J. (2019). Economic sustainability study of São Miguel Island in the Azores using photovoltaic panels and wind turbines. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11174782>
- Michelotto, F., & Joia, L. (2024). Organizational digital transformation readiness: An exploratory investigation. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. <https://doi.org/10.3390/jtaer19040159>
- Mithas, S., Chen, Z.-L., Saldanha, T., & De Oliveira Silveira, A. (2022). How will artificial intelligence and Industry 4.0 emerging technologies transform operations management? *Production and Operations Management*, 31, 4475–4487. <https://doi.org/10.1111/poms.13864>
- Modelo de Avaliação de Maturidade Indústria 4.0-i4.0 Scoreboard. (2020). *COTEC Portugal - Associação Empresarial para a Inovação*. <https://cotecportugal.pt/pt/projects/i4-0-scoreboard/>
- Mohajan, H. (2019). The first industrial revolution: Creation of a new global human era. *Munich Personal RePEc Archive (MPRA)*. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/96644/>

- Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38(8).
- Muscio, A., & Ciffolilli, A. (2020). What drives the capacity to integrate Industry 4.0 technologies? Evidence from European R&D projects. *Economics of Innovation and New Technology*, 29, 169–183. <https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1597413>
- Naboni, R., & Paoletti, I. (2015). The third industrial revolution. In *The third industrial revolution* (pp. 7–27). https://doi.org/10.1007/978-3-319-04423-1_2
- Naboni, R., & Paoletti, I. (2020). Chapter 2 the third industrial revolution. In *The third industrial revolution*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04423-1_2
- Naeem, G., Asif, M., & Khalid, M. (2024). Industry 4.0 digital technologies for the advancement of renewable energy: Functions, applications, potential and challenges. *Energy Conversion and Management: X*. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100779>
- Nath, S. S. (2018). Impact of the fourth industrial revolution. *Tạp chí Nghiên cứu dân tộc*. <https://doi.org/10.25073/0866-773x/86>
- Nations Unies (Ed.). (2015). *The Millennium Development Goals Report 2015*. United Nations.
- Nicolás-Agustín, Á., Jiménez-Jiménez, D., & Maeso-Fernandez, F. (2021). The role of human resource practices in the implementation of digital transformation. *International Journal of Manpower*. <https://doi.org/10.1108/ijm-03-2021-0176>
- Nogueira, T., Jesus, J., & Magano, J. (2024). Graciosa Island’s hybrid energy system expansion scenarios: A technical and economic analysis. *Journal of Sustainability Research*. <https://doi.org/10.20900/jsr20240010>
- Nuvolari, A. (2019). Understanding successive industrial revolutions: A “development block” approach. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.11.002>
- Oliveira, J. M., & Gomes, C. (2024a). Leveraging digital transformation on the path to sustainable development: The role of excellence models. *Business Process Management Journal*, 30, 1340–1366. <https://doi.org/10.1108/bpmj-06-2023-0459>
- Oliveira, J. M., & Gomes, C. (2024b). Critical factors for the success of sustainable development goal 12 in the digital transformation era: The effect of ISO 14001. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.4023>
- Partilha de energia entre ilhas ainda é muito difícil. (2023, junho 13). *Diário Insular*. <http://www.diarioinsular.pt/version/1.1/r16/?cmd=noticia&id=154005>

- Pereira, A. A. M. M. (2021). *A Indústria 4.0 em Portugal – O estado da arte* [Dissertação de mestrado, ISCTE Business School]. <https://www.iscte-iul.pt/tese/11687>
- Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A., & Barata, J. (2020). Industrial artificial intelligence in Industry 4.0—Systematic review, challenges and outlook. *IEEE Access*, 8, 220121–220139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874>
- Philip, J. (2021). Viewing digital transformation through the lens of transformational leadership. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 31, 114–129. <https://doi.org/10.1080/10919392.2021.1911573>
- Piccarozzi, M., Aquilani, B., & Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su10103821>
- Pinelo, J., Rocha, A. D., Arvana, M., Gonçalves, J., Cota, N., & Silva, P. (2023). Unveiling LoRa's oceanic reach: Assessing the coverage of the Azores LoRaWAN network from an island. *Sensors*, 23(17), Artigo 17. <https://doi.org/10.3390/s23177394>
- Porfírio, J., Carrilho, T., Felício, J., & Jardim, J. (2020). Leadership characteristics and digital transformation. *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.058>
- Porter, M., & Stern, S. (2001). Innovation: Location matters. *MIT Sloan Management Review*, 42, 28–36. <https://sloanreview.mit.edu/article/innovation-location-matters/>
- Prado, S. (2010). The British industrial revolution in global perspective. *Scandinavian Economic History Review*, 58, 278–280. <https://doi.org/10.1080/03585522.2010.503593>
- Quirk, D. G., Mendonça, F., Henriques, F., Jørgensen, T., Lahtimo, M., Figueira, A., Trónnheim, H., Nielsen, T., Nordberg, C., Davies, G., Fraser, L., Østergaard, P. A., Lund, H., Kristensen, M., Hermansen, S., Cowin, A., & Peake, R. (2024). Energy transition league: A comparison of islands' paths to net zero emissions. [10.1049/icp.2024.1820](https://doi.org/10.1049/icp.2024.1820)
- Rego, A., Cunha, M., & Polónia, D. (2015). Corporate sustainability: A view from the top. *Journal of Business Ethics*, 143, 133–157. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2760-8>
- Reuter, E., & Floyd, S. (2023). Strategic leaders' ecosystem vision formation and digital transformation: A motivated interactional lens. *Strategic Entrepreneurship Journal*. <https://doi.org/10.1002/sej.1493>
- Rialti, R., & Filieri, R. (2024). Leaders, let's get agile! Observing agile leadership in successful digital transformation projects. *Business Horizons*. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2024.04.003>
- RIS3 Açores. (2022). *RIS3 Açores*. Governo Regional dos Açores. <https://ris3.azores.gov.pt/>

- Rita, L. P. S., & Silva, J. R. (2023). Competitiveness and R&D subsidies: The case of the Industry 4.0 program in Portugal. *BAR - Brazilian Administration Review*. <https://doi.org/10.1590/1807-7692bar2023220003>
- Rodríguez, I., Mogensen, R., Fink, A., Raunholt, T., Markussen, S., Christensen, P., Berardinelli, G., Mogensen, P., Schou, C., & Madsen, O. (2021). An experimental framework for 5G wireless system integration into Industry 4.0 applications. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14154444>
- Rodríguez-Espíndola, O., Chowdhury, S., Dey, P., Albores, P., & Emrouznejad, A. (2022). Analysis of the adoption of emergent technologies for risk management in the era of digital manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121562>
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed.). Free Press. <https://teddykw2.files.wordpress.com/2012/07/everett-m-rogers-diffusion-of-innovations.pdf>
- Rotatori, D., Lee, E. J., & Sleeva, S. (2020). The evolution of the workforce during the fourth industrial revolution. *Human Resource Development International*, 24, 92–103. <https://doi.org/10.1080/13678868.2020.1767453>
- Rupeika-Apoga, R., & Petrovska, K. (2022). Barriers to sustainable digital transformation in micro-, small-, and medium-sized enterprises. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su142013558>
- 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*. Boston Consulting Group. https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries
- Russo, D., & Stol, K.-J. (2022). PLS-SEM for software engineering research: An introduction and survey. *ACM Computing Surveys*, 54(4), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3447580>
- Saarikko, T., Westergren, U., & Blomquist, T. (2020). Digital transformation: Five recommendations for the digitally conscious firm. *Business Horizons*. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2020.07.005>
- Sacavém, A., De Bem Machado, A., Santos, J. R. D., Palma-Moreira, A., Belchior-Rocha, H., & Au-Yong-Oliveira, M. (2025). Leading in the digital age: The role of leadership in organizational digital transformation. *Administrative Sciences*. <https://doi.org/10.3390/admsci15020043>
- Sallaku, R., & Vigolo, V. (2024). Predicting customer loyalty to Airbnb using PLS-SEM: The role of authenticity, interactivity, involvement and customer engagement. *The TQM Journal*, 36(5), 1346–1368. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2021-0348>

- Santos, M. Y., Oliveira E Sá, J., Andrade, C., Vale Lima, F., Costa, E., Costa, C., Martinho, B., & Galvão, J. (2017). A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management*, 37(6), 750–760. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.012>
- Sarkar, T. (2023, janeiro 4). Cloud computing as the foundation of Industry 4.0. *Cyfuture Blog*. <https://cyfuture.com/blog/correlation-of-industry-4-0-and-cloud-computing/>
- Schiuma, G., & Carlucci, D. (2018). Managing strategic partnerships with universities in innovation ecosystems: A research agenda. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. <https://doi.org/10.3390/joitmc4030025>
- Schiuma, G., Santarsiero, F., Carlucci, D., & Jarrarb, Y. (2024). Transformative leadership competencies for organizational digital transformation. *Business Horizons*. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2024.04.004>
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Wahlster, W., Kagermann, H., Dumitrescu, R., Hocken, C., Winter, J., & Blocher, A. (2017). *acatech Industrie 4.0 Maturity Index—Managing the digital transformation of companies*. acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Scott, J. (2020). *The first industrial revolution: How the old world ended*. <https://doi.org/10.12987/yale/9780300243598.003.0003>
- Serey, J., Alfaro, M., Fuertes, G., Vargas, M., Ternero, R., Duran, C., Sabattin, J., & Gutiérrez, S. (2023). Framework for the strategic adoption of Industry 4.0: A focus on intelligent systems. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr11102973>
- Sharma, K., Nigam, N., Jha, J. K., & Xu, X. (2024). Role of readiness to change in the relationship between workforce agility and digital transformation. *Journal of Global Information Management*. <https://doi.org/10.4018/jgim.345241>
- Silva, D. C., Deruyter, J., Zech, C., Murugesan, R., & Witmer, L. (2020). Implementation of energy storage systems in the Azores islands as a flexibility tool to increase renewable penetration. *CIREC - Open Access Proceedings Journal*, 2020(1), 525–528. <https://doi.org/10.1049/oap-cired.2021.0107>
- Silva, E., Oliveira, C., Mendes, A., & Guerra, H. (2017). Technology and innovation in agriculture: The Azores case study. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11, 56–66. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7070>
- Sobaih, A., Gharbi, H., Hasanein, A., & Elnasr, A. A. (2022). The mediating effects of green innovation and corporate social responsibility on the link between transformational

- leadership and performance: An examination using SEM analysis. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math10152685>
- Soomro, M., & Khan, A. N. (2024). Reimagining resilience: Visionary leadership, digital transformation, and strategic flexibility in small and medium enterprises in construction sector. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 15070–15083. <https://doi.org/10.1109/TEM.2024.3477629>
- Soori, M., Jough, F. K. G., Dastres, R., & Arezoo, B. (2024). Industry 4.0 for sustainable manufacturing: A review. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19231.57765>
- Sousa, M., & Rocha, Á. (2019). Digital learning: Developing skills for digital transformation of organizations. *Future Generation Computer Systems*, *91*, 327–334. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.048>
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, *40*, 536–541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Stroumpoulis, A., & Kopanaki, E. (2022). Theoretical perspectives on sustainable supply chain management and digital transformation: A literature review and a conceptual framework. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14084862>
- Taleb, T., Afolabi, I., & Baga, M. (2019). Orchestrating 5G network slices to support industrial internet and to shape next-generation smart factories. *IEEE Network*, *33*, 146–154. <https://doi.org/10.1109/MNET.2018.1800129>
- Tamvada, J., Narula, S., Audretsch, D., Puppala, H., & Kumar, A. (2022). Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122088>
- Teixeira, J. E., & Tavares-Lehmann, A. T. C. P. (2022). Industry 4.0 in the European Union: Policies and national strategies. *Technological Forecasting and Social Change*, *180*, 121664. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121664>
- Tjhin, V., & Riantini, R. E. (2022). Smart farming: Implementation of Industry 4.0 in the agricultural sector. *Proceedings of the 6th International Conference on E-Commerce, E-Business and E-Government*. <https://doi.org/10.1145/3537693.3537711>
- Tortorella, G., Mac Cawley Vergara, A., Garza-Reyes, J., & Sawhney, R. (2020). Organizational learning paths based upon Industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.06.023>
- Tosun, C., Parvez, M. A., Bilim, Y., & Yu, L. (2022). Effects of green transformational leadership on green performance of employees via the mediating role of corporate social

- responsibility: Reflection from North Cyprus. *International Journal of Hospitality Management*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103218>
- Tourani, N., & Khatibi, S. (2020). Investigating the impact of strategic alignment on performance considering the role of sustainable strategy. *Management Science*, 10, 46–54. <https://doi.org/10.5923/j.mm.20201002.02>
- Tsolakis, N., Niedenzu, D., Simonetto, M., Dora, M., & Kumar, M. (2021). Supply network design to address United Nations Sustainable Development Goals: A case study of blockchain implementation in Thai fish industry. *Journal of Business Research*, 131, 495–519. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.08.003>
- Tyagi, A., Dananjayan, S., Agarwal, D., & Ahmed, H. F. T. (2023). Blockchain—Internet of Things applications: Opportunities and challenges for Industry 4.0 and Society 5.0. *Sensors*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23020947>
- Vane, J., Kalvas, F., & Basl, J. (2021). Engineering companies and their readiness for Industry 4.0. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2020-0318>
- Verhoef, P., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Veseli, A., Hasanaj, P., & Bajraktari, A. (2025). Perceptions of organizational change readiness for sustainable digital transformation: Insights from learning management system projects in higher education institutions. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su17020619>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems*, 28, 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Vinhas da Terceira—A digital platform to support decision-making on agricultural management practices of vineyards in Azores. (2024). *AIR Centre | Atlantic International Research Centre*. <https://www.aircentre.org/projects/vinhas-da-terceira/>
- Visser, C., & Hanich, Q. A. (2016). How blockchain is strengthening tuna traceability to combat illegal fishing. <https://theconversation.com/how-blockchain-is-strengthening-tuna-traceability-to-combat-illegal-fishing-89965>
- Vo, H. T., Nguyen, P., Nguyen, S. T. N., Vrontis, D., & Bianco, R. (2024). Unlocking digital transformation in Industry 4.0: Exploring organizational readiness, innovation and firm performance in Vietnam. *European Journal of Innovation Management*. <https://doi.org/10.1108/ejim-03-2024-0273>

- Walters, J., & Vorster, J. (2016). *The fourth industrial revolution: Teaching and learning in the 21st century*. <https://doi.org/10.4337/9781786430328.00006>
- Wang, G., Devine, R., Molina-Sieiro, G., & Holmes, R. (2023). Strategic leaders and corporate social responsibility: A meta-analytic review. *Journal of Management*. <https://doi.org/10.1177/01492063231164991>
- Warner, K., & Wäger, M. (2019). Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001>
- Wasim, H. (2023, maio 4). Robots in the manufacturing industry: Types and applications. *Wevolver*. <https://www.wevolver.com/article/manufacturing-robots>
- Weber, E., Büttgen, M., & Bartsch, S. (2022). How to take employees on the digital transformation journey: An experimental study on complementary leadership behaviors in managing organizational change. *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.01.036>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Wong, K. K.-K. (2019). *Mastering partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) with SmartPLS in 38 hours*. IUniverse. https://www.researchgate.net/publication/332031150_Mastering_Partial_Least_Squares_Structural_Equation_Modeling_PLS-SEM_with_SmartPLS_in_38_Hours
- Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12093760>
- Xie, W. (2024). Exploring the role of strategic leadership in enhancing organizational performance: A case study of emerging industries. *International Journal of Science and Engineering Applications*. <https://doi.org/10.7753/ijsea1310.1015>
- Xu, M., David, J., & Kim, S. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International Journal of Financial Research*, 9, 90–95. <https://doi.org/10.5430/ijfr.v9n2p90>
- Xu, W., He, Y., Li, J., Zhou, J., Xu, E., Wang, W., & Liu, D. (2023). Robotization and intelligent digital systems in the meat cutting industry: From the perspectives of robotic cutting, perception, and digital development. *Trends in Food Science & Technology*, 135, 234–251. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.018>
- Yang, F., & Gu, S. (2021). Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies. *Complex & Intelligent Systems*, 7, 1311–1325. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00267-9>

- Yao, Q., Tang, H., Liu, Y., & Boadu, F. (2023). The penetration effect of digital leadership on digital transformation: The role of digital strategy consensus and diversity types. *Journal of Enterprise Information Management*, 37, 903–927. <https://doi.org/10.1108/jeim-09-2022-0350>
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M., & Colantoni, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>
- Zhang, C., & Yang, J. (2020). Second industrial revolution. In *A history of mechanical engineering*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0833-2_5

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 – Listagem de políticas nacionais “Indústria 4.0”
- Anexo 2 – Modelo do inquérito
- Anexo 3 – Guião da entrevista
- Anexo 4 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis
- Anexo 5 – Localização da operação das organizações
- Anexo 7 – Ponto de partida da digitalização
- Anexo 8 – Motivos para a transformação digital
- Anexo 9 – Nível de prontidão
- Anexo 10 – Nível de investimento – atual e previsto
- Anexo 11 – Alinhamento e visão estratégica da liderança
- Anexo 12 – Avaliação da comunicação
- Anexo 13 – Conhecimento e implementação
- Anexo 14 – Implementação de tecnologias da Indústria 4.0
- Anexo 15 – Limitações e forma de superação
- Anexo 16 – Satisfação desempenho operacional vs impacto financeiro
- Anexo 17 – Competências dos RH quanto aos requisitos para a Indústria 4.0
- Anexo 18 – Impacto da localização geográfica
- Anexo 19 – Impacto da localização geográfica – desafios
- Anexo 20 – Impacto da localização geográfica – oportunidades
- Anexo 21 – Práticas de sustentabilidade e responsabilidade social
- Anexo 22 – Sustentabilidade e responsabilidade social – impacto
- Anexo 23 – Parcerias para investigação e desenvolvimento
- Anexo 24 – Interação com o ecossistema
- Anexo 25 – Consequências da adoção da Indústria 4.0 em cinco anos
- Anexo 26 – Tecnologias emergentes
- Anexo 27 – Modelo conceptual inicial
- Anexo 28 – Nuvem de palavras (entrevistas)

Anexo 1 – Listagem de políticas nacionais “Indústria 4.0”

Tabela 9. Listagem de políticas nacionais – Indústria 4.0

Fonte: (Teixeira & Tavares-Lehmann, 2022)

País	Política/Programa	Ano	Entidade Responsável
Alemanha	Industrie 4.0	2011	Ministério da Educação e Pesquisa / Ministério da Economia e Energia
Reino Unido	High Value Manufacturing Catapult	2011	Governo
Letónia	National Industrial Policy Guidelines 2014–2020	2012	Ministério da Economia / outros ministérios
Bélgica	Made Different – Factories of the Future	2013	Stakeholders governamentais e industriais
Suécia	Smart Industry	2013	VINNOVA (Agência Sueca de Inovação) e stakeholders industriais
Irlanda	Doing more with Digital; Future Jobs Ireland 2019- Ireland’s Industry 4.0 Strategy 2020–2025	2013	Departamento de Comunicações, Ação Climática e Ambiente
Áustria	Industrie 4.0 Osterreich	2014	Ministério dos Transportes, Inovação e Energia
Dinamarca	Manufacturing Academy of Denmark (MADE)	2014	MADE (Academia de Fabricação da Dinamarca)
Países Baixos	Smart Industry	2014	Governo e stakeholders industriais
Estónia	Digital Agenda 2020	2014	Governo
Malta	Digital Malta Strategy	2014	Secretário Parlamentar de Serviços Financeiros, Economia Digital e Inovação (Gabinete do Primeiro-Ministro)
França	Alliance pour l’Industrie du Futur	2015	Governo
Luxemburgo	Third Industrial Revolution strategy (TIR)	2015	Governo
Finlândia	Digitalisation, Experimentation and Deregulation (Public sector ICT)	2015	Departamento de TIC, Ministério das Finanças
Chipre	Cyprus Digital Strategy – Action Plan 2015 - 2017	2015	Ministério do Transporte, Comunicações e Trabalho
Croácia	National Strategy and Action Plan for Cybersecurity (Não existe estratégia nacional para digitalização)	2015	National Security Office
Roménia	Digital Agenda for Romania 2020	2015	Ministério das Comunicações e da Sociedade da Informação
Eslováquia	Smart Industry	2016	Ministério da Economia
Espanha	Industria Conectada 4.0	2016	Secretário Geral da Indústria
Hungria	IPAR4.0 National Technology Initiative	2016	Ministério da Economia e Academia Húngara do Instituto de Ciências da Computação e Controle (MTA SZTAKI)
Lituânia	Pramonė 4.0	2016	Governo
Polónia	Initiative and Platform Industry 4.0	2016	Ministério das Finanças e Desenvolvimento
República Checa	Průmysl 4.0	2016	Ministério da Indústria e Comércio
Eslovénia	Digital Coalition Slovenia 2020	2016	Governo
Grécia	National Digital Policy 2016- 2021	2016	Ministério da Política Digital, Telecomunicações e Média
Itália	Industria 4.0	2017	Ministério do Desenvolvimento Económico
Portugal	Indústria 4.0	2017	Ministério da Economia
Bulgária	Industry 4.0 / National Development Program	2017	Ministério dos Transportes, Tecnologia da Informação e Comunicação

Anexo 2 – Modelo do inquérito

O presente questionário insere-se no âmbito de uma dissertação do Mestrado em Gestão de Empresas (MBA), da Universidade dos Açores, e tem por objetivo analisar o estado da arte da indústria 4.0 na Região Autónoma dos Açores, com um foco particular nos setores estratégicos da Agricultura, Agroindústria, Mar e Crescimento Azul. A participação no estudo destina-se aos indivíduos que atuem nestes setores estratégicos e que estejam envolvidos com as áreas de digitalização e tecnologias de informação na sua organização.

A sua contribuição será anónima, sendo a informação recolhida usada apenas para fins de investigação. Durante o preenchimento e até à submissão do formulário pode, em qualquer momento, recusar a sua participação, ou interromper o seu preenchimento, sendo que nenhuma informação será guardada.

Desde já, agradeço a sua colaboração e tempo dispensado!

Se necessitar de mais informações ou esclarecimentos, poderá contactar-me:

Rui Miguel da Cunha Ataíde Bettencourt - 20122635@uac.pt

Termo de aceitação

- Compreendi as condições e objetivos do presente estudo e aceito participar.

Secção I - Caracterização da Organização

1. A sua organização pertence a qual dos seguintes segmentos:

- Agricultura
- Agroindústria
- Mar e Crescimento Azul
- Tecnologia e Inovação
- Distribuição e Logística

2. Qual a dimensão da sua organização?

- Microempresa (até 10 colaboradores)
- Pequena empresa (11 a 50 colaboradores)
- Média empresa (51 a 250 colaboradores)
- Grande empresa (mais de 250 colaboradores)

3. A sua organização opera em qual das seguintes localizações:

	Sim	Não
Ilha de São Miguel		
Ilha de Santa Maria		
Ilha Terceira		
Ilha Graciosa		
Ilha de São Jorge		
Ilha do Pico		
Ilha do Faial		
Ilha das Flores		
Ilha do Corvo		
Fora da RAA		

4. Indique por favor a função que desempenha na sua organização:

- Gestão de topo (CEO, Diretor(a) Executivo(a), etc.)
- Gestão intermédia (Gerente de Departamento, Supervisor(a), etc.)
- Especialista técnico(a) (Engenheiro(a), Analista, Técnico(a), etc.)
- Colaborador(a) operacional (Funcionário(a) de linha de frente, assistente, etc.)
- Estudante em estágio ou formação
- Outro: _____

5. Há quanto tempo está a sua organização estabelecida no mercado?

- Menos de 1 ano
- 1 a 5 anos
- 6 a 10 anos
- 11 a 20 anos
- Mais de 20 anos

6. A sua organização é familiar ou pertence a um grupo empresarial?

- Empresa familiar

- Pertence a um grupo empresarial

Secção II - Consciência e Percepção sobre a Transformação Digital

7. Indique o seu grau de concordância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 - Discordo; 2 - Discordo parcialmente; 3 - Não concordo nem discordo; 4 - Concordo parcialmente; e 5 - Concordo totalmente.

	1	2	3	4	5
A liderança da minha organização reconhece a importância estratégica da transformação digital.					
A liderança da minha organização está satisfeita com o ritmo da transformação digital atualmente existente na indústria.					
A transformação digital é um elemento permanente na agenda estratégica da liderança da minha organização.					
Na minha organização os colaboradores estão bem informados sobre as tendências e tecnologias relacionadas com a Indústria 4.0.					
A minha organização investe de forma adequada em formação e desenvolvimento de competências digitais.					
A transformação digital é percebida como uma oportunidade de crescimento e inovação na minha organização.					
Existe uma abertura significativa à adoção de novas tecnologias digitais na minha organização.					

Secção III - Avaliação do Ponto de Partida Digital da Organização

8. Indique o seu grau de concordância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 - Discordo, 2 - Discordo parcialmente, 3 - Não concordo nem discordo, 4 - Concordo parcialmente, e 5 - Concordo totalmente.

	1	2	3	4	5
A nossa organização identifica claramente quais são os ativos estratégicos fundamentais para o processo de transformação digital.					
Compreendemos como as nossas capacidades digitais se posicionam em comparação com os principais concorrentes no mercado.					
A nossa organização possui uma visão bem definida dos primeiros passos cruciais para iniciar a nossa transformação digital.					

9. Qual o grau de importância que atribui a cada um dos seguintes aspetos relativos aos motivos para a transformação digital na sua organização, utilizando uma escala de 1 a 5 (em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3 - Indiferente; 4 - Importante; e 5 - Muito importante).

	1	2	3	4	5
Adoção de novas tecnologias					
Cultura organizacional					
Capacitação de colaboradores					
Investimento financeiro					
Oportunidade para se diferenciar no mercado					
Regulamentações e conformidade legal					
Faz parte da sua condição de líder de mercado					
Os requisitos de mercado e a pressão competitiva					

10. Como avalia a prontidão da sua organização para implementar mudanças digitais significativas, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1- Muito baixa; 2 – Baixa; 3 - Média; 4 - Elevada; e 5 - Muito elevada.

	1	2	3	4	5
Como avalia a prontidão da sua organização para implementar mudanças digitais significativas?					
Como avalia o grau de digitalização presente na sua organização no momento atual?					

11. Qual foi o investimento em i4.O nos últimos 2 anos na organização?

- Investimento anual Grande: mais de 3% do volume de negócios

- Médio: entre 1 e 3% do volume de negócios
- Pequeno: menos de 1 % do volume de negócios

12. Qual é o investimento planeado para os próximos 2 anos na organização?

- Investimento anual Grande: mais de 3% do volume de negócios
- Médio: entre 1 e 3% do volume de negócios
- Pequeno: menos de 1 % do volume de negócios

Secção IV - Alinhamento e Visão Estratégica da Liderança

13. Indique o seu grau de concordância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 - Discordo; 2 - Discordo parcialmente; 3 - Não concordo nem discordo; 4 - Concordo parcialmente; e 5 - Concordo totalmente.

	1	2	3	4	5
Os executivos da nossa organização estão unidos em relação à visão de um futuro digital para a organização.					
A visão de transformação digital da liderança da nossa organização abrange todos os departamentos e setores da organização.					
A nossa liderança promove uma transformação digital que implica mudanças significativas em relação aos métodos tradicionais de condução de negócios.					

14. Como avalia a eficácia da comunicação da visão digital da liderança para o resto da organização, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 - Muito baixa; 2 - Baixa; 3 - Média; 4 - Elevada; e 5 - Muito elevada.

	1	2	3	4	5
Como avalia a eficácia da comunicação da visão digital da liderança para o resto da organização?					

Secção V - Conhecimento e Implementação das Tecnologias da Indústria 4.0

15. Conhece o conceito de i4.0 (Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial)?

- Não, nunca ouvi falar
- Vagamente e não é importante para a organização
- Superficialmente e pretendo saber mais para avaliar o seu potencial na organização
- O suficiente para já termos algumas iniciativas piloto a decorrer
- Dominamos o conceito e já o aplicamos de forma transversal na organização

16. Como descreve o nível de implementação da estratégia i4.0 na sua organização?

- Não existe estratégia
- Foram lançadas algumas iniciativas piloto
- A estratégia está em desenvolvimento
- A estratégia está formada
- A estratégia está em implementação
- A estratégia está implementada

17. Que tecnologias utiliza na sua organização?

	Sim	Não
Sensores		
Dispositivos móveis		
RFID - Identificação por radiofrequência		
Sistemas de localização em tempo real		
Sistemas TI integrados		
Comunicações M2M (Máquina à máquina)		
Telegestão		

18. Qual dos seguintes grupos de tecnologias da Indústria 4.0 é mais utilizada na sua organização?

	Sim	Não
Internet das Coisas (IoT)		
Big Data e Analytics		
Robótica		
Inteligência Artificial e Machine Learning		

Realidade Aumentada/Virtual		
Cloud Computing		
Cibersegurança		

19. Qual das seguintes etapas a sua organização já iniciou para desenvolver uma estratégia de transformação digital?

	Sim	Não
Avaliação das necessidades tecnológicas		
Formação e capacitação dos colaboradores		
Adaptação da infraestrutura tecnológica		
Parcerias estratégicas para inovação tecnológica		
Implementação de novas tecnologias		
Cibersegurança		

20. Na sua opinião, qual o nível de importância das seguintes limitações para a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na sua organização?

Indique o seu grau de importância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5 (em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3- Indiferente; 4 - Importante; e 5 - Muito importante).

	1	2	3	4	5
Custos de implementação					
Falta de conhecimento técnico					
Resistência à mudança					
falta de infraestrutura adequada					
Questões de segurança e privacidade					

21. Qual a importância das seguintes opções para superar desafios e aumentar a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 na sua organização?

Indique o seu grau de importância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5 (em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3- Indiferente; 4 - Importante; e 5 - Muito importante).

	1	2	3	4	5
Formação contínua e capacitação					
Investimento em tecnologia e infraestrutura					
Parcerias com outras organizações e instituições					
Fomento de uma cultura de inovação					
Apoio governamental e incentivos fiscais					

22. Indique o seu grau de concordância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 - Muito insatisfeito; 2 – Insatisfeito; 3- Nem satisfeito nem insatisfeito; 4 – Satisfeito; e 5 - Muito satisfeito.

	1	2	3	4	5
Como avalia o nível de satisfação com o desempenho operacional das tecnologias da Indústria 4.0 na sua organização?					
Como avalia o nível de satisfação com o impacto financeiro das tecnologias da Indústria 4.0 na sua organização?					

23. As pessoas são a força motriz da transformação digital e são as mais afetados por este processo de mudança. O seu ambiente de trabalho direto é alterado, obrigando as a adquirir novas competências e qualificações. Por isso, é cada vez mais crítico que as organizações preparem as pessoas para estas mudanças através de programas adequados de formação, indicando o seu grau de relevância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5 (em que 1 - Não relevante; 2 - Não existentes; 3- Não adequadas; 4 - Existentes; e 5 – Adequadas).

	1	2	3	4	5
Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos da indústria 4.0?					
Infraestrutura					
Automação					
Análise de dados					

Desenvolvimento ou aplicação de sistemas de apoio					
Software colaborativo					
Competências não técnicas tais como pensamento sistêmico e entendimento do processo					

Secção VI - Impacto da Localização Geográfica nos Desafios e Oportunidades

24. A localização geográfica da sua organização impacta a adoção de tecnologias da Indústria 4.0?

	Sim	Não
Facilita a adoção devido a fatores únicos da localização		
Não tem um impacto significativo		
Apresenta desafios específicos que dificultam a adoção		

25. De entre os seguintes desafios específicos da localização geográfica, qual o grau de importância que a sua organização atribuiu na adoção da Indústria 4.0, utilize uma escala de 1 a 5, em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3 - Indiferente; 4 - Importante; e 5 - Muito importante.

	1	2	3	4	5
Acesso limitado a infraestruturas tecnológicas					
Dificuldades de logística e transporte					
Escassez de especialistas e formação local					
Custo elevado de implementação devido à localização					
Isolamento geográfico dos mercados principais					

26. Qual é o grau de importância que atribuiu às oportunidades que a localização geográfica da sua organização oferece para a adoção da Indústria 4.0, utilize uma escala de 1 a 5, em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3 - Indiferente; 4 - Importante; e 5 - Muito importante.

	1	2	3	4	5
Proximidade a ecossistemas naturais para testes de sustentabilidade					
Oportunidades de parceria com instituições de pesquisa locais					
Acesso a mercados específicos devido à localização					
Incentivos governamentais específicos para a região					

Secção VII - Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa

27. De que forma a sua organização integra práticas de sustentabilidade e responsabilidade social?

	Sim	Não
Estratégias de sustentabilidade integradas no modelo de negócios		
Iniciativas pontuais de responsabilidade social		
Parcerias com organizações de sustentabilidade e responsabilidade social		
Ainda não implementa, mas planeja fazê-lo		
Não implementa e não planeja fazê-lo		

28. Indique o seu grau de importância com cada uma das seguintes afirmações, utilize uma escala de 1 a 5, em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3 - Indiferente; 4 - Importante; e 5 - Muito importante.

	1	2	3	4	5
Qual a importância atribuída pela sua organização à sustentabilidade e responsabilidade social na tomada de decisões estratégicas?					
Como avalia o impacto das iniciativas de sustentabilidade e responsabilidade social na imagem e desempenho da sua organização?					

Secção VIII - Interação com o Ecossistema Local e Regional

29. De que forma a sua organização interage com o ecossistema local e regional (instituições de ensino, outras empresas, organizações governamentais)? Indique o seu grau de concordância com cada uma das seguintes afirmações, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 - Nunca; 2 - Raramente; 3 - Às vezes; 4 - Com frequência; e 5 - Muito frequentemente.

	1	2	3	4	5
Parcerias estratégicas para pesquisa e desenvolvimento					
Colaborações eventuais em projetos específicos					
Participação em redes de negócios e eventos locais					

30. Indique o seu grau de importância com cada uma das seguintes afirmações, utilize uma escala de 1 a 5, em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3 - Indiferente; 4 – Importante; e 5 - Muito importante.

	1	2	3	4	5
Qual a importância das interações com o ecossistema local e regional para o sucesso da sua organização?					
Como avalia o nível de apoio que a sua organização recebe do ecossistema local e regional?					

Seção XI – Seção final

31. Considerando um horizonte de 5 anos que consequências prevê que a adoção dos princípios da Indústria 4.0 possam ter na sua organização?

	Sim	Não
Aumento da eficiência do sistema de produção		
Aumento dos proveitos		
Aumento da eficiência do sistema de gestão		
Redução dos custos		

32. Indique o seu grau de importância relativa às tecnologias emergentes que se prevê estarem em ascensão e amplamente adotadas no horizonte de cinco anos, utilize uma escala de 1 a 5, em que 1 - Nada importante; 2 - Pouco importante; 3 - Indiferente; 4 – Importante; e 5 - Muito importante.

	1	2	3	4	5
Inteligência Artificial					
Internet das Coisas (IoT)					
Impressão 3D					
Blockchain					
Energias Renováveis					
Medicina e Biotecnologia					

Anexo 3 – Guião da entrevista

Transformação digital

Como está sendo abordada a transformação digital na sua organização?

Qual foi o maior desafio que a sua organização enfrentou durante este processo?

Quais foram as mudanças operacionais mais significativas que ocorreram na vossa organização como resultado da transformação digital?

Sustentabilidade e Responsabilidade Social

Como a sustentabilidade e a responsabilidade social (ESG) estão integradas na sua organização, atualmente?

Liderança e Cultura Organizacional

A liderança da sua organização está atualmente a guiar a transformação digital?

Interação com o Ecossistema

De que forma, atualmente, a sua organização interage com os setores empresarial, académico e governamentais?

Sobre o Programa Operacional Açores 2020 e o Impacto do Plano de Recuperação e Resiliência

Como avalia a eficácia das verbas atribuídas pelo Programa Operacional Açores 2020, especialmente nos eixos 1: (Investigação, desenvolvimento tecnológico e inovação); e 3: (Competitividade das empresas regionais), no âmbito do apoio à digitalização das organizações?

De que forma a alocação dos fundos do PRR está sendo coordenada para atender às necessidades e prioridades das organizações regionais?

Existe um alinhamento entre a estratégia de alocação de fundos e a transição para a Indústria 4.0?

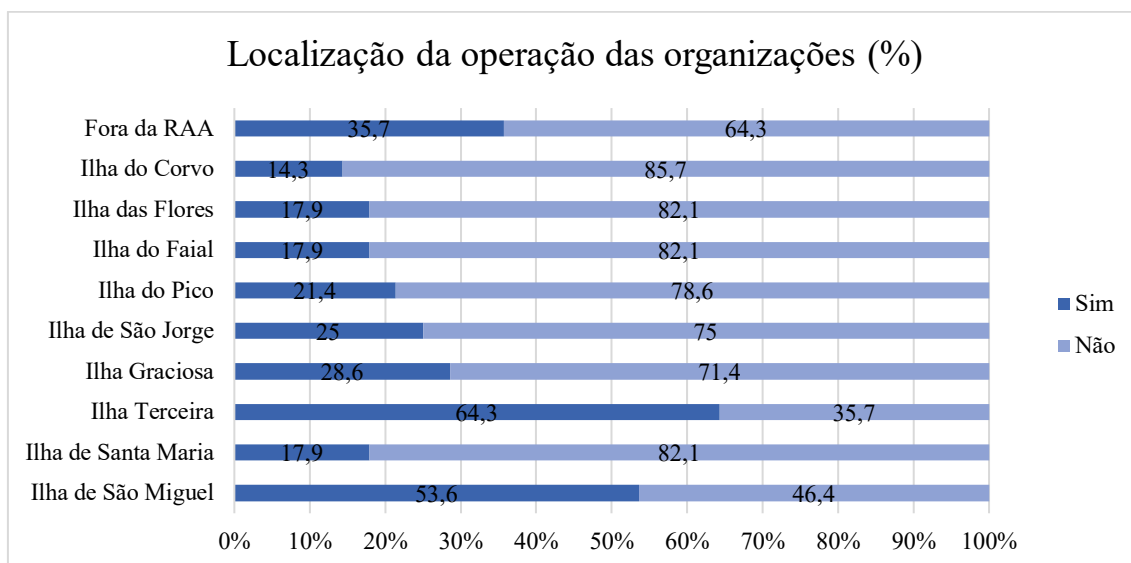
Anexo 4 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis

Tabela 10. Resultados do teste de Kruskal-Wallis - variáveis sociodemográficas

Variável sociodemográfica: Segmento de Mercado							
Construto	H	p-value	Agricultura	Agroindústria	Distribuição e Logística	Mar e Crescimento Azul	Tecnologia e Inovação
CPTD	31,917	<0,001	48,56	69,56	74,67	81,75	107,38
PPDO	17,979	0,001	61,89	76,75	50,5	63,63	99,25
MTDO	34,275	<0,001	60,78	86,44	24,67	73	92,38
PMDS	41,988	<0,001	45,78	86,13	97,17	51,75	93,63
AVEL	46,639	<0,001	56,33	89,88	36,33	53	106,75
LAT	20,531	<0,001	70,5	57,38	48	92,38	91,75
AIT	11,765	0,019	79,11	73	61,33	45,5	78
ST	37,84	<0,001	45,5	74,56	71,33	80,5	108
ILG	39,199	<0,001	83	82,69	31,33	81,75	36,13
OLG	19,131	<0,001	82,44	69,88	51,33	85,5	44,25
ISRS	41,27	<0,001	64,67	101,44	38	60,5	56,13
TE	10,528	0,032	70,78	69,88	42,17	83,63	79,25
Variável sociodemográfica: Dimensão da Organização							
Construto	H	p-value	Grande empresa	Média empresa	Microempresa	Pequena empresa	
CPTD	36,144	<0,001	91,5	86,5	45,27	83,71	
PPDO	23,477	<0,001	90	94,5	58,23	58,71	
MTDO	3,116	0,374	83	66	67,09	70,14	
PMDS	67,481	<0,001	93	90	36,41	94,07	
AVEL	37,884	<0,001	89	104,5	50,95	63,71	
LAT	1,399	0,706	73	71	73,45	63,71	
AIT	2,336	0,506	75,5	60,5	70,27	74,43	
ST	28,175	<0,001	82,5	96	50,05	75,86	
ILG	45,127	<0,001	57	76,5	94,14	38,71	
OLG	48,703	<0,001	61	68	96,64	38	
ISRS	52,683	<0,001	93,5	108,5	58,68	45,5	
TE	26,035	<0,001	82,5	80	79,82	40,5	
Variável sociodemográfica: Tempo de Atividade							
Construto	H	p-value	<=5 anos	6-10 anos	11-20 anos	>20 anos	
CPTD	15,931	0,001	78	73	37,38	76,19	
PPDO	12,31	0,006	90,5	44,67	83	68,69	
MTDO	16,286	<0,001	62,17	49,67	48	80,36	
PMDS	33,362	<0,001	97,17	88,83	28	72,44	
AVEL	21,56	<0,001	109,67	48,83	56,13	70,78	
LAT	17,176	<0,001	59,67	58,83	43	80,36	
AIT	17,08	<0,001	78,83	44,67	48	78,42	
ST	26,422	<0,001	89,67	61,33	31,75	77,44	
ILG	28,804	<0,001	78	21,33	90,5	73	
OLG	8,054	0,045	61,33	46,33	79,25	74,11	
ISRS	15,338	0,002	83	38	60,5	76,06	
TE	17,639	<0,001	71,33	36,33	56,13	79,25	

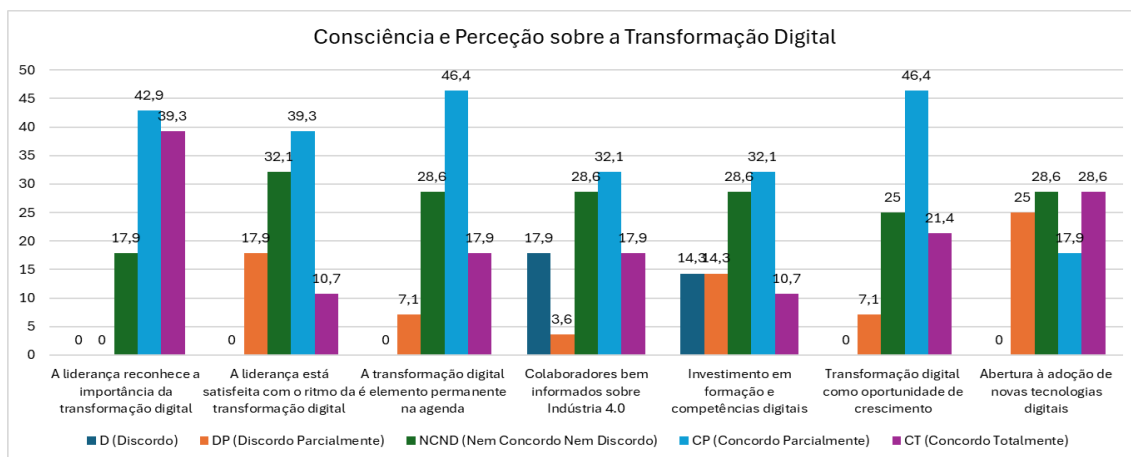
Anexo 5 – Localização da operação das organizações

Figura 3. Localização da operação das organizações (%)



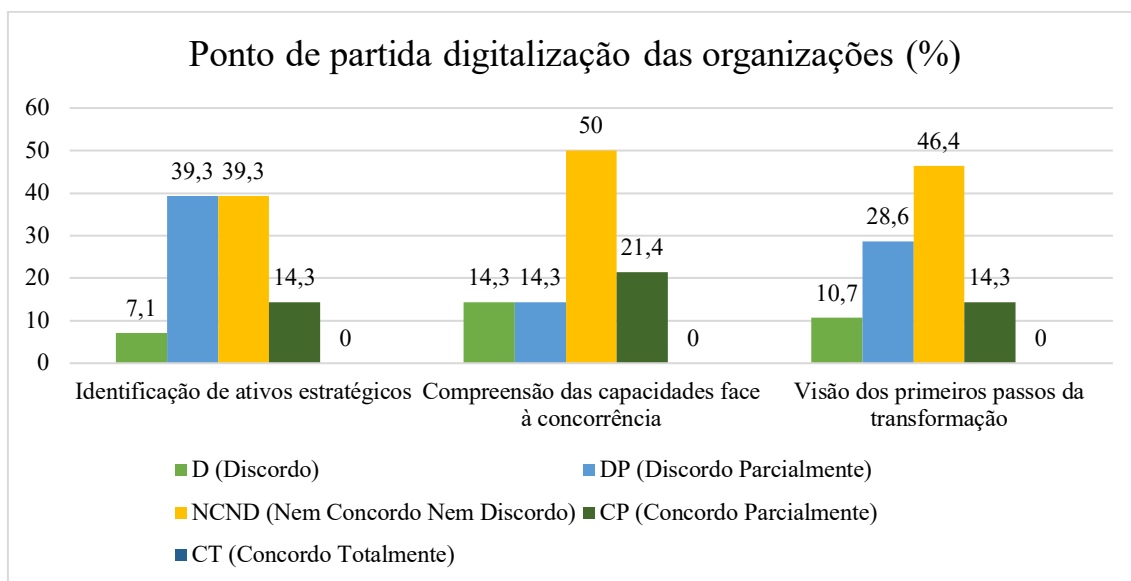
Anexo 6 – Consciência e percepção sobre a transformação digital

Figura 4. Consciência e percepção sobre a transformação digital (%)



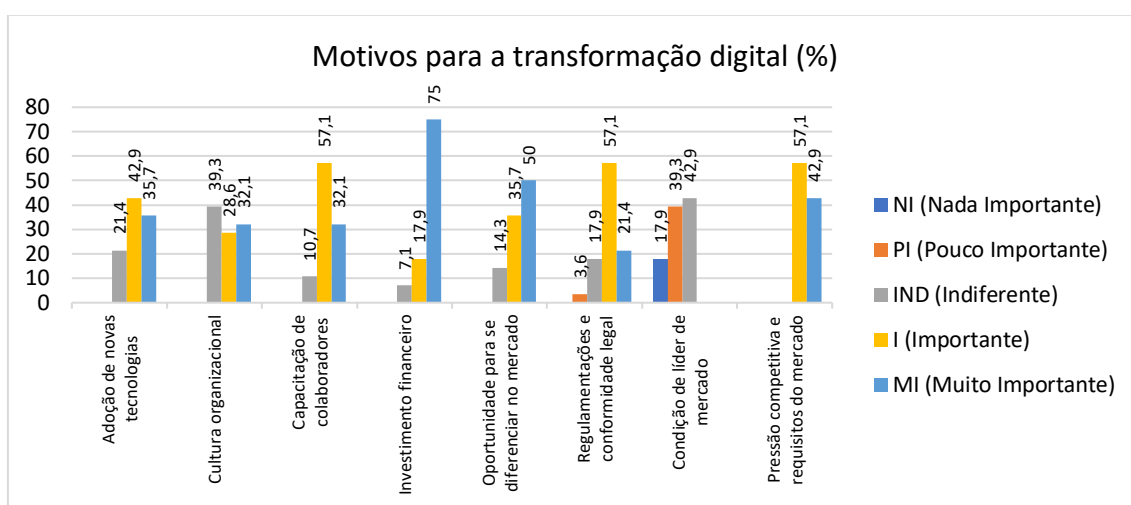
Anexo 7 – Ponto de partida da digitalização

Figura 5. Ponto de partida - digitalização (%)



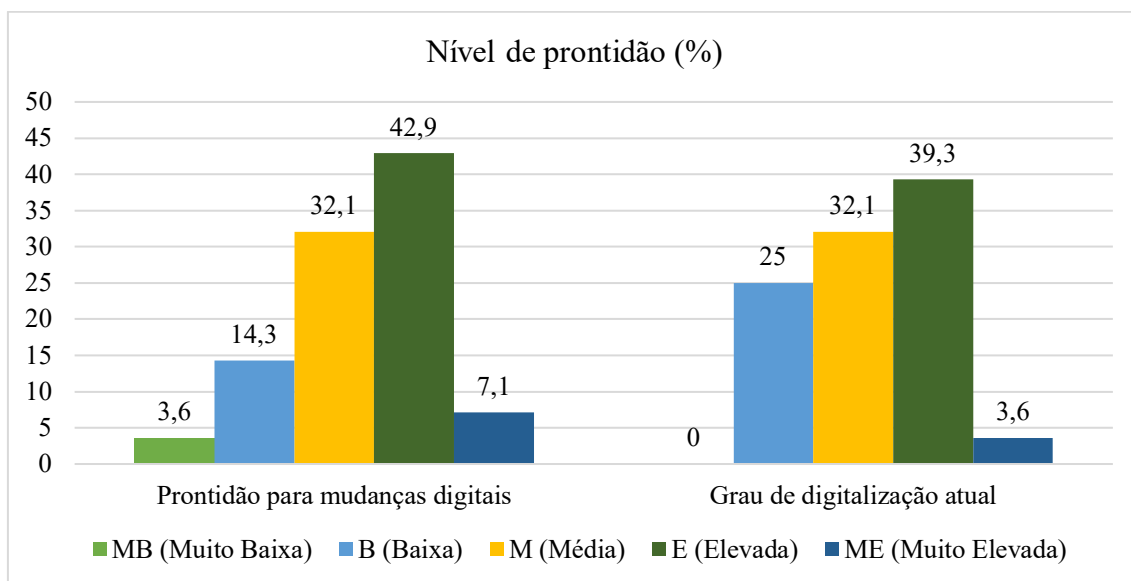
Anexo 8 – Motivos para a transformação digital

Figura 6. Motivos para a transformação digital (%)



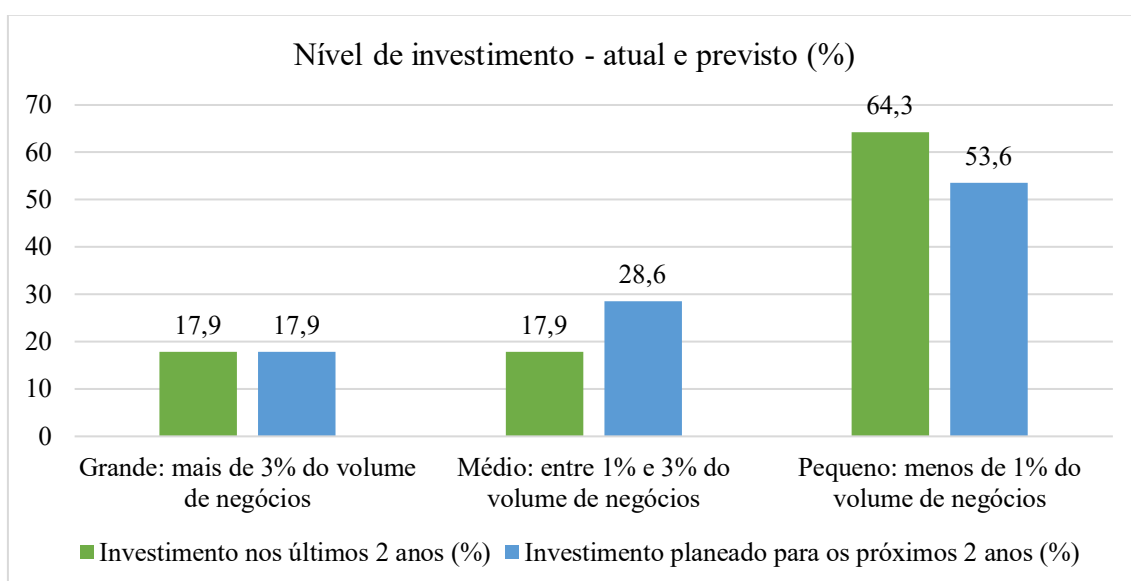
Anexo 9 – Nível de prontidão

Figura 7. Nível de prontidão (%)



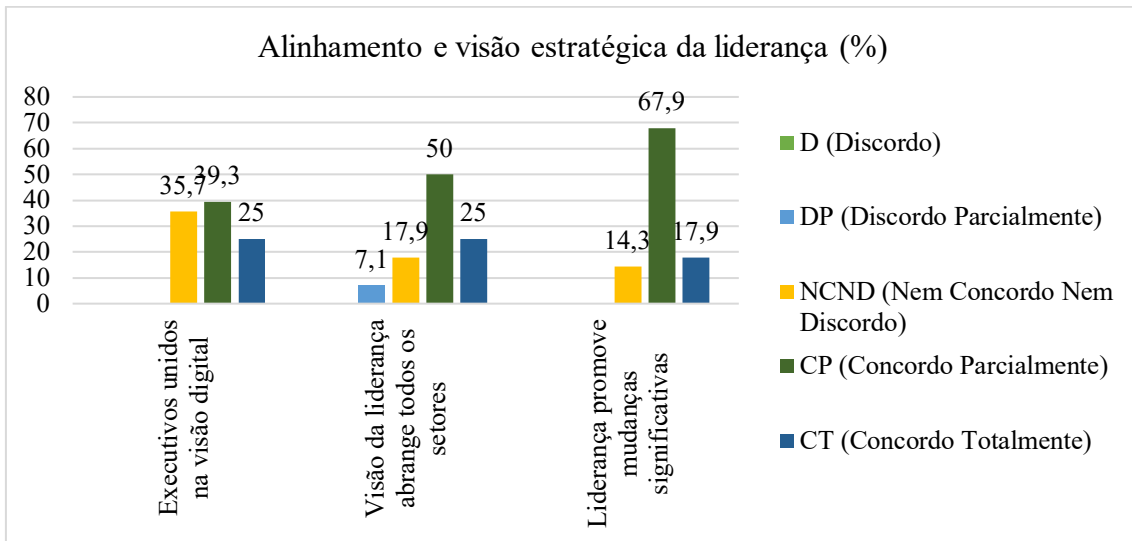
Anexo 10 – Nível de investimento – atual e previsto

Figura 8. Nível de investimento (%)



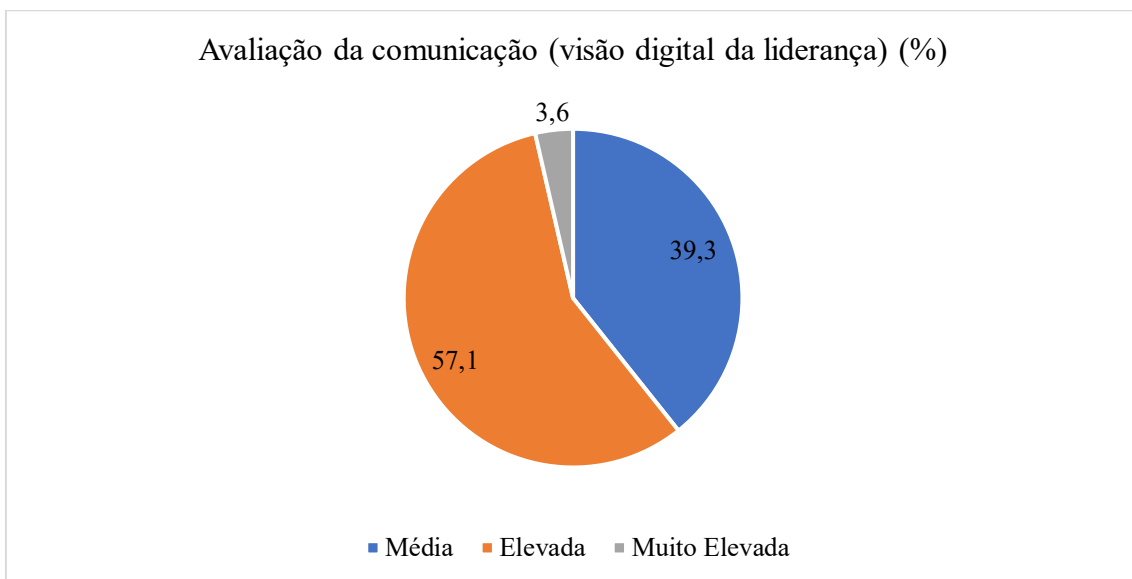
Anexo 11 – Alinhamento e visão estratégica da liderança

Figura 9. Alinhamento e visão estratégica da liderança (%)



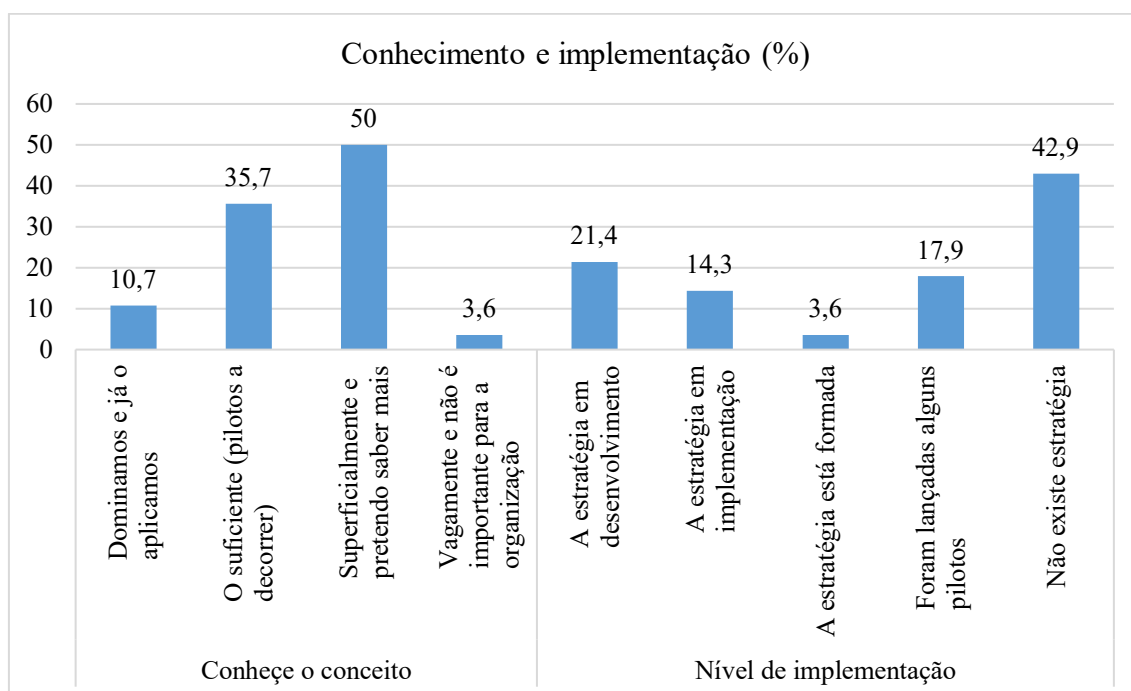
Anexo 12 – Avaliação da comunicação

Figura 10. Avaliação da comunicação (visão digital da liderança) (%)



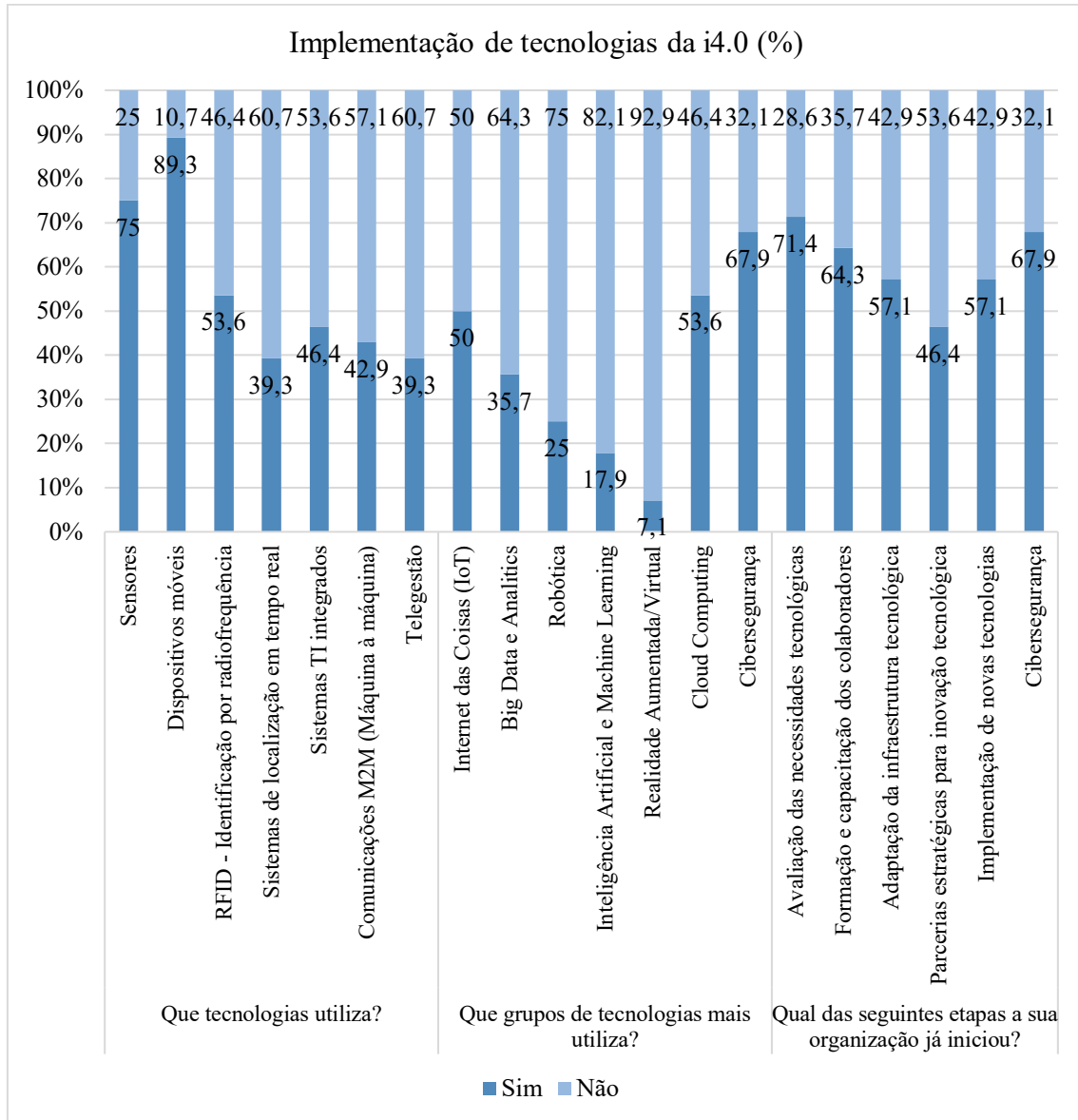
Anexo 13 – Conhecimento e implementação

Figura 11. Conhecimento e implementação (%)



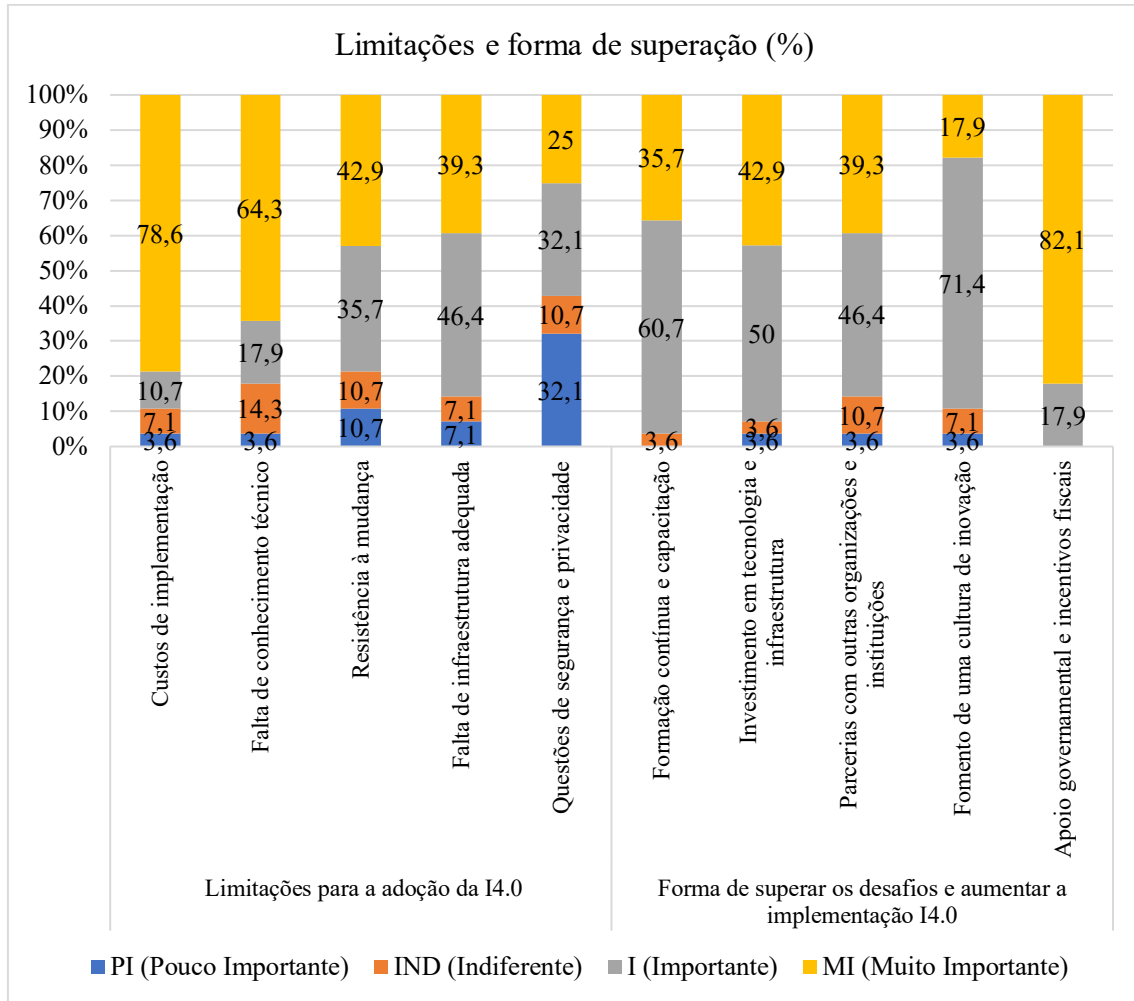
Anexo 14 – Implementação de tecnologias da Indústria 4.0

Figura 12. Implementação de tecnologias da indústria 4.0 (%)



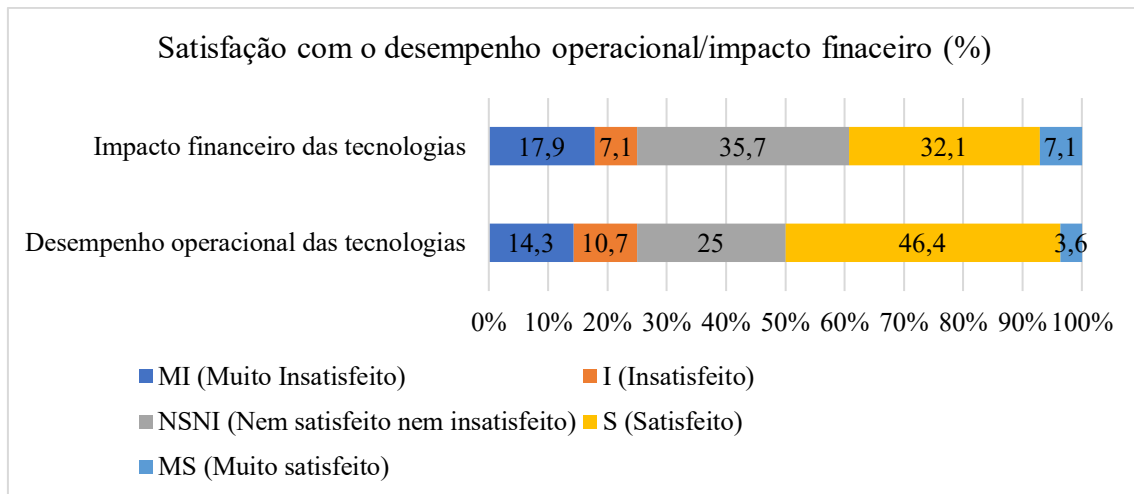
Anexo 15 – Limitações e forma de superação

Figura 13. Limitações e estratégias de superação (%)



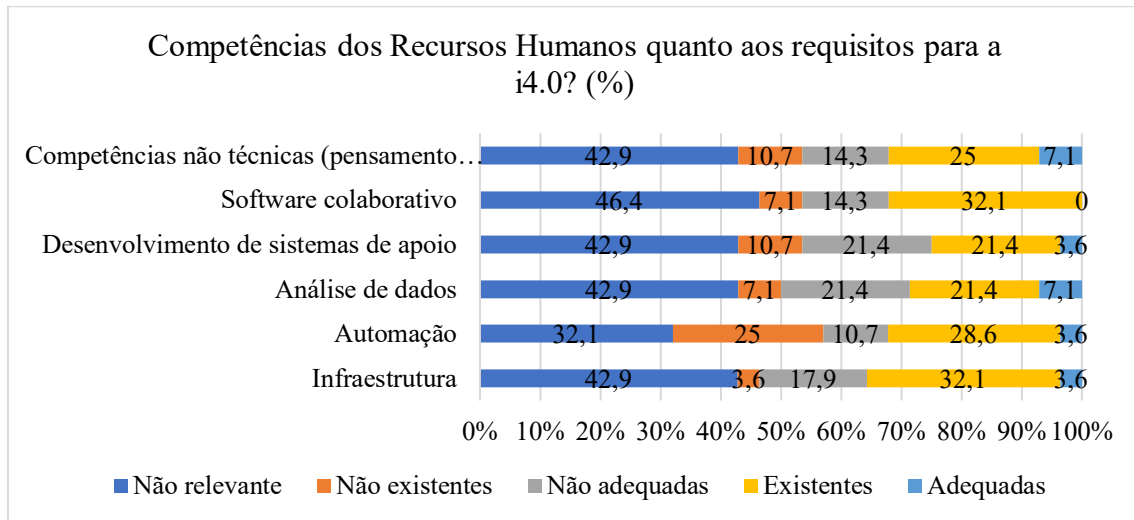
Anexo 16 – Satisfação desempenho operacional vs impacto financeiro

Figura 14. Satisfação do desempenho operacional vs impacto financeiro (%)



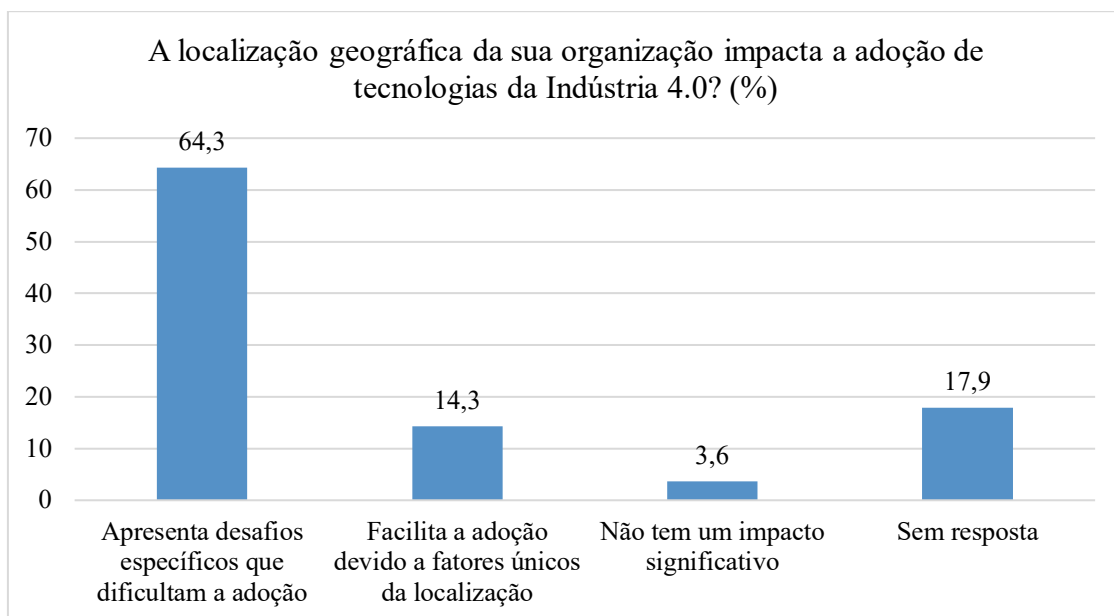
Anexo 17 – Competências dos RH quanto aos requisitos para a Indústria 4.0

Figura 15. Competências dos recursos humanos (%)



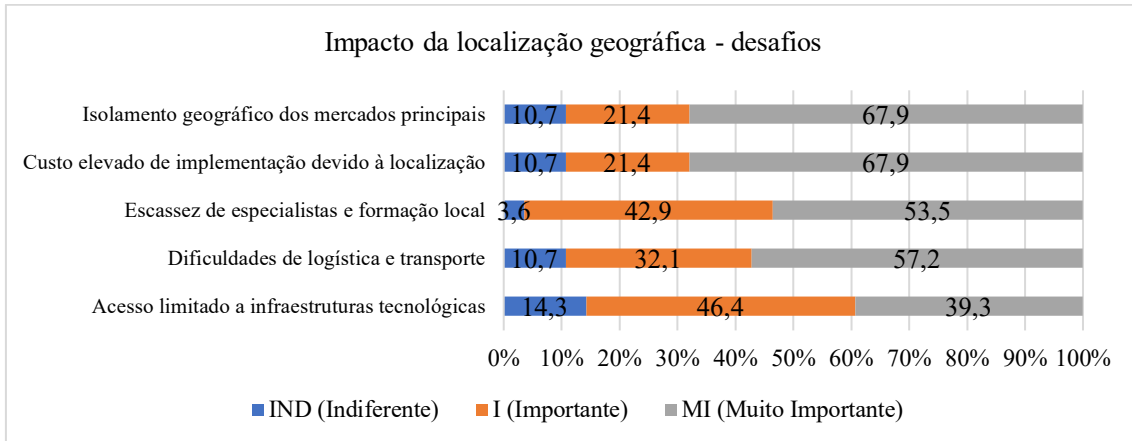
Anexo 18 – Impacto da localização geográfica

Figura 16. Impacto da localização geográfica (%)



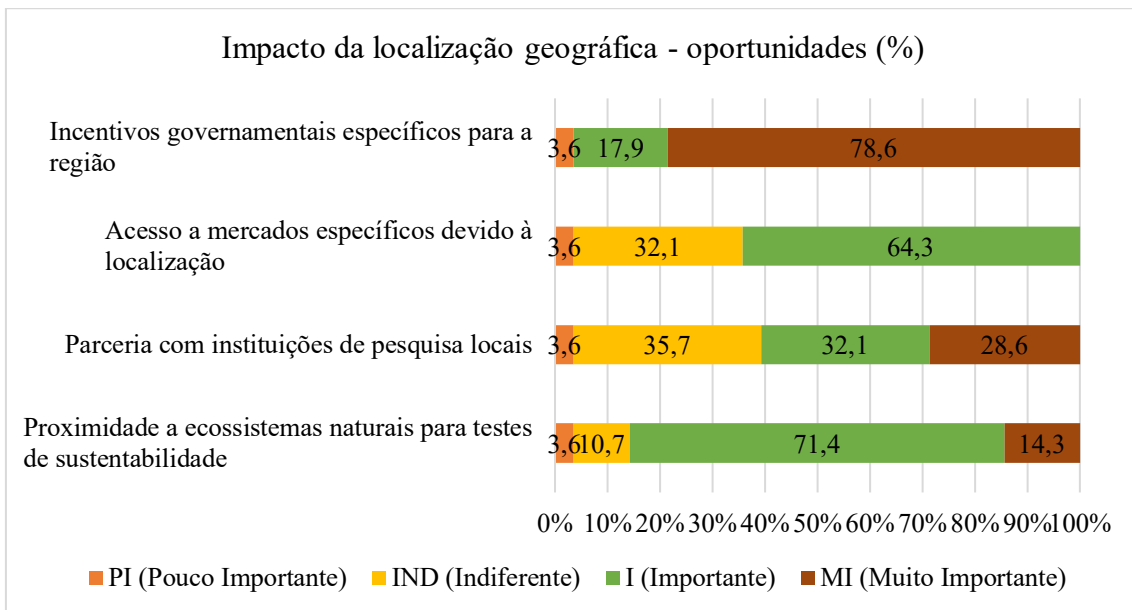
Anexo 19 – Impacto da localização geográfica – desafios

Figura 17. Impacto da localização geográfica – desafios (%)



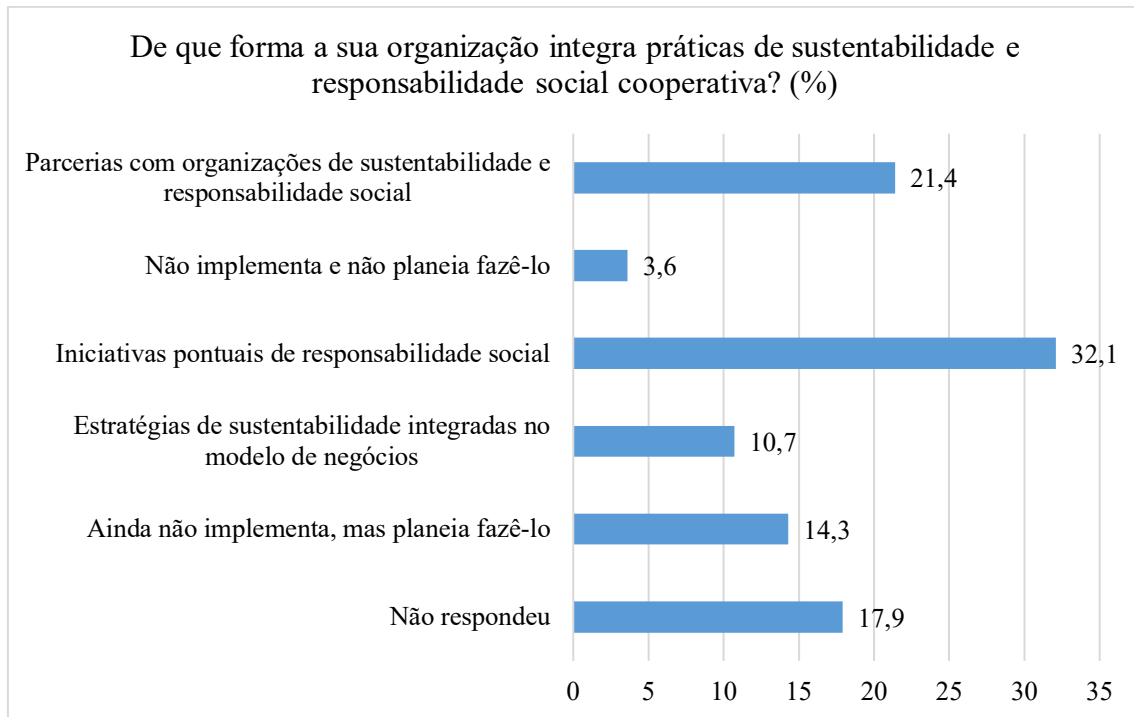
Anexo 20 – Impacto da localização geográfica - oportunidades

Figura 18. Impacto da localização geográfica - oportunidades (%)



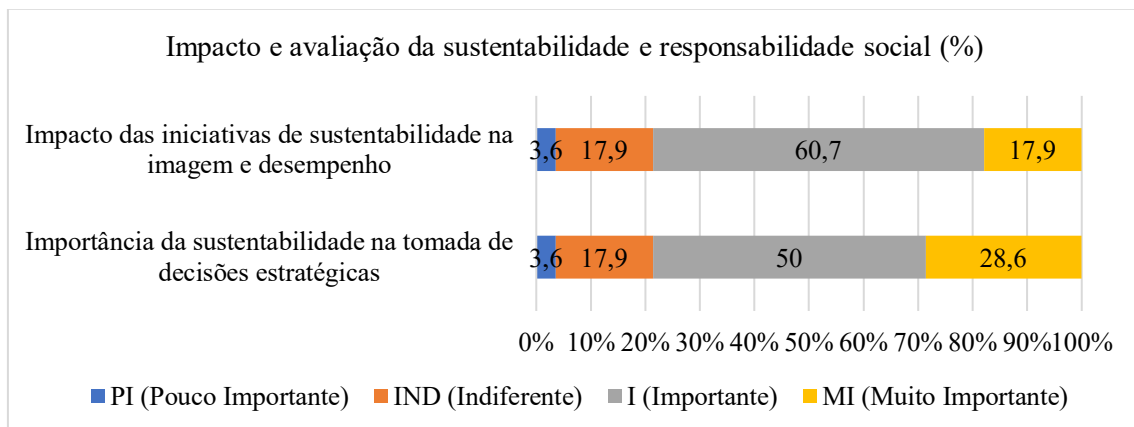
Anexo 21 – Práticas de sustentabilidade e responsabilidade social

Figura 19. Práticas de sustentabilidade e responsabilidade social cooperativa (%)



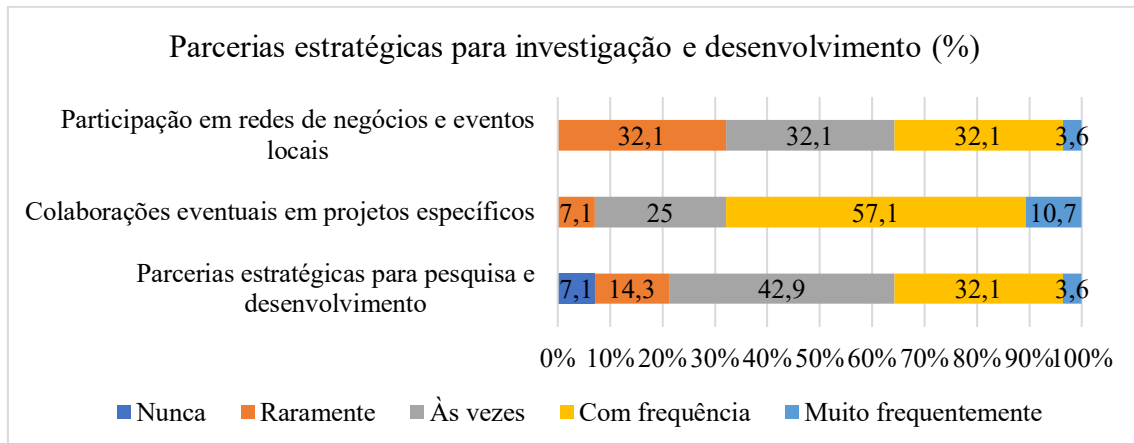
Anexo 22 – Sustentabilidade e responsabilidade social - impacto

Figura 20- Impacto sustentabilidade e responsabilidade social (%)



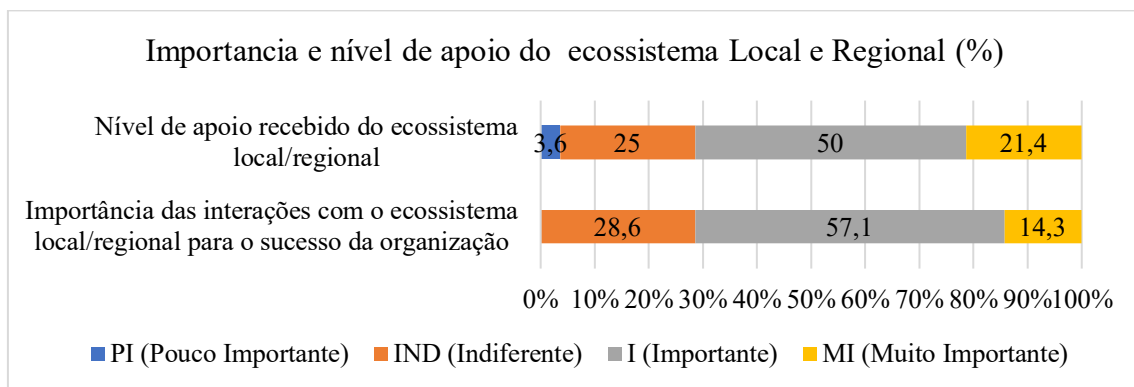
Anexo 23 – Parcerias para investigação e desenvolvimento

Figura 21. Parcerias para I&D (%)



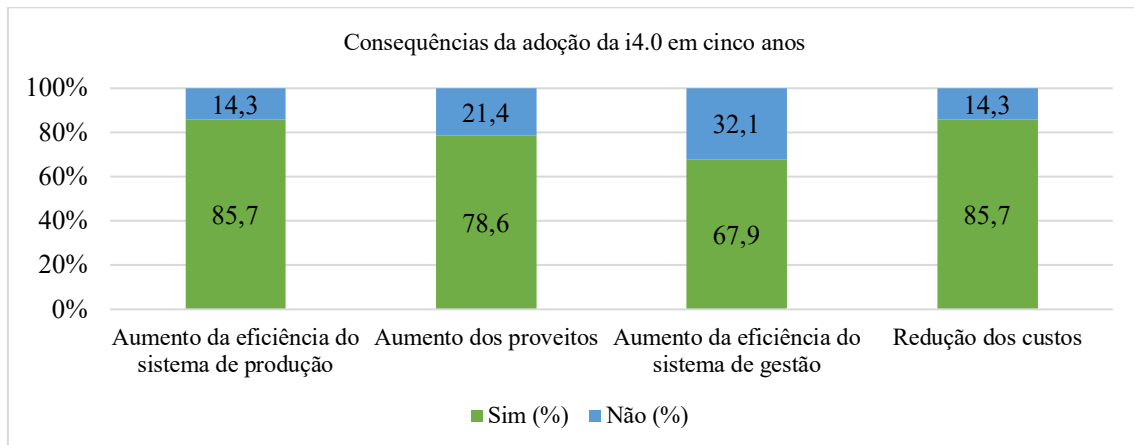
Anexo 24 – Interação com o ecossistema

Figura 22. Interação e apoio do ecossistema (%)



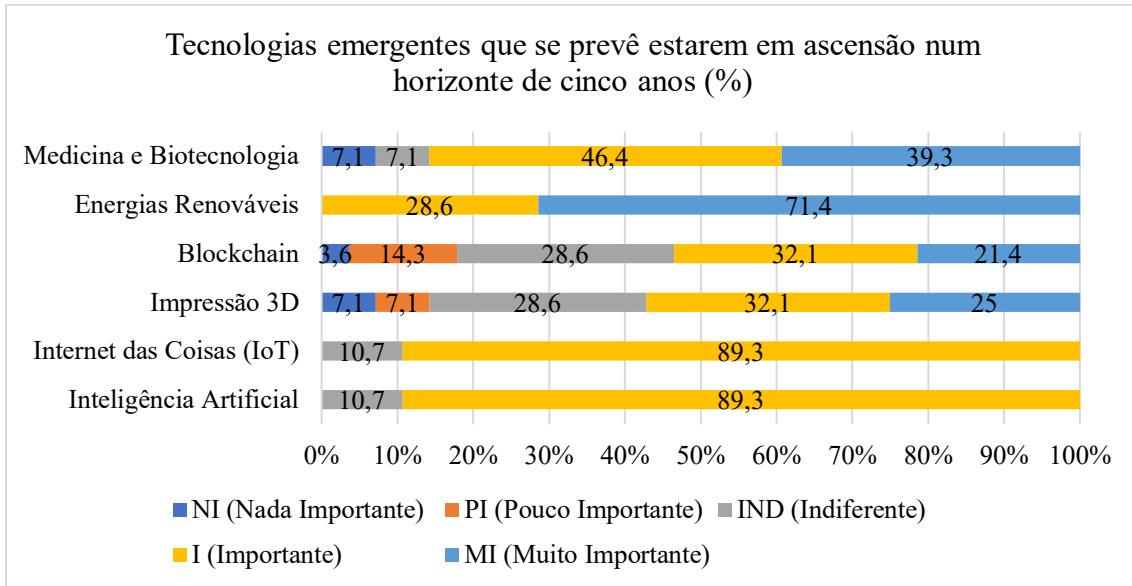
Anexo 25 – Consequências da adoção da Indústria 4.0 em cinco anos

Figura 23. Consequências da adoção da indústria 4.0 em cinco anos (%)



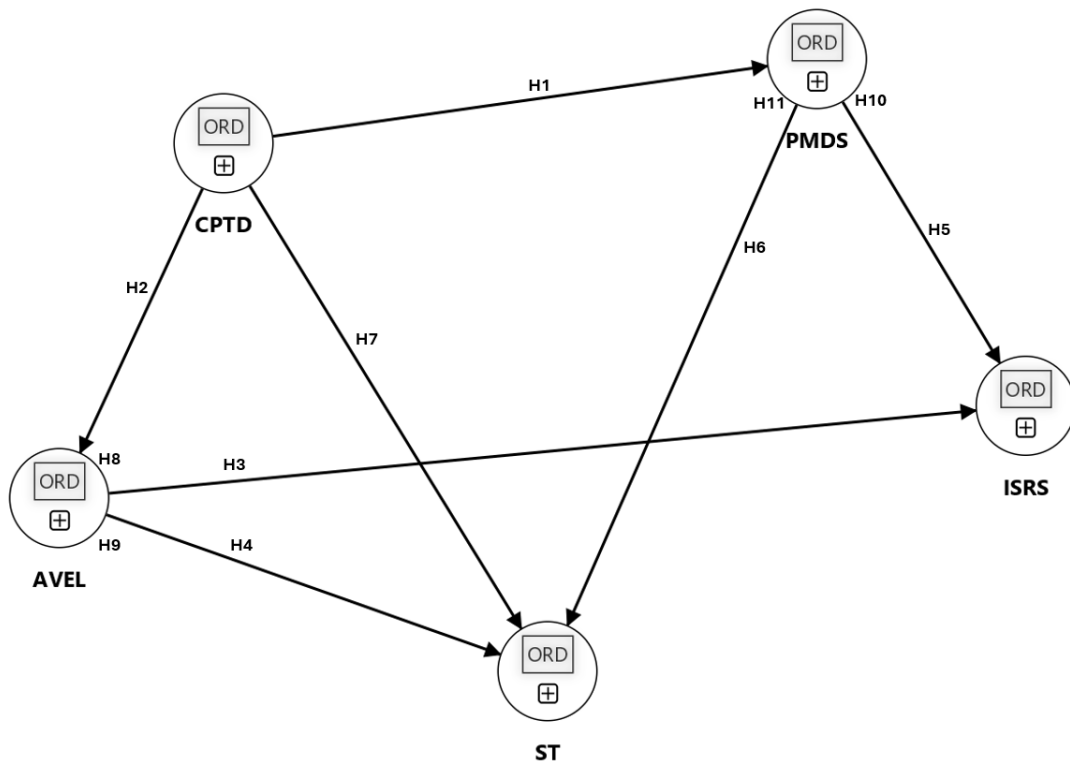
Anexo 26 – Tecnologias emergentes

Figura 24. Tecnologias emergentes (%)



Anexo 27 – Modelo conceptual inicial

Figura 25. Modelo conceptual inicial



Anexo 28 – Nuvem de palavras (entrevistas)

Figura 26. Nuvem de palavras - transformação digital



Figura 30. Nuvem de palavras - apoios públicos e políticas regionais



UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Faculdade de Economia e Gestão

Rua da Mãe de Deus
9500-321 Ponta Delgada
Açores, Portugal