



UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA

Resiliência e Sustentabilidade nas Cadeias de Abastecimento: O Papel Disruptivo da Tecnologia

José Guilherme da Cunha Miranda de Carvalho Maia

Católica Porto Business School

Abril, 2025



UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA

Resiliência e Sustentabilidade nas Cadeias de Abastecimento: O Papel Disruptivo da Tecnologia

Trabalho Final na modalidade de Dissertação
apresentado à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de mestre em Service Management

Realizado por

José Guilherme da Cunha Miranda de Carvalho Maia

Sob orientação de

Professora

Maria Alice Trindade

Católica Porto Business School

Abril, 2025

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à Professora Maria Alice Trindade todo o seu apoio, disponibilidade e empenho na orientação da minha dissertação. O seu conhecimento e colaboração foram essenciais para o desenvolvimento de todo o projeto.

Agradeço à Universidade Católica Portuguesa, aos meus professores e colegas, que contribuíram para o meu crescimento académico e profissional.

Um agradecimento às empresas e aos seus representantes que participaram nas entrevistas, disponibilizando o seu tempo e conhecimento para enriquecer este estudo. As suas perspetivas e experiências foram fundamentais para a construção de uma visão prática e aplicada dos conceitos abordados.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, em todos os momentos. O vosso apoio foi inestimável e tornou este percurso mais leve e gratificante.

Ao meu irmão, que sempre esteve ao meu lado desde o início, com quem compartilhei as minhas experiências e obtive conselhos valiosos.

Aos meus pais, pela crença absoluta em mim e por me motivarem a perseguir sempre os meus sonhos. O seu amor inabalável e a confiança que depositam nas minhas capacidades foram os pilares essenciais para todo o sucesso.

Por fim, um agradecimento especial à minha namorada, pelo apoio incondicional, paciência e motivação ao longo deste percurso. A tua presença fez toda a diferença.

Resumo

A presente dissertação analisou o impacto da integração de tecnologias emergentes, em particular da Inteligência Artificial (IA) e da Internet das Coisas (IoT), na resiliência e sustentabilidade das cadeias de abastecimento em Portugal. Para tal, foi conduzido um estudo de caso múltiplo com base em entrevistas semiestruturadas a representantes de quatro empresas multinacionais de diferentes setores a operar em Portugal, permitindo uma comparação entre os principais desafios enfrentados, as oportunidades identificadas e as estratégias implementadas.

Os resultados obtidos revelaram que a adoção de soluções tecnológicas potenciou a agilidade, a capacidade preditiva e a eficiência energética das organizações, contribuindo para a minimização de riscos operacionais e ambientais. A combinação entre IA e IoT, Inteligência Artificial das Coisas (AIoT), demonstrou ser especialmente eficaz na manutenção preditiva, na monitorização em tempo real e na redução de desperdícios. No entanto, foram também identificadas algumas barreiras significativas à sua adoção, nomeadamente os elevados custos de implementação, a escassez de talento qualificado e a dificuldade de integração nos processos existentes.

Posto isto, este estudo contribui para colmatar uma lacuna na literatura ao analisar este fenómeno num contexto empresarial português, oferecendo insights práticos e recomendações estratégicas para uma transição digital eficaz e sustentável. A investigação reforça a relevância da AIoT como alicerce da modernização das cadeias de abastecimento rumo à Indústria 5.0.

Palavras-chave: Cadeia de Abastecimento, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Sustentabilidade, Resiliência

Abstract

This dissertation analysed the impact of integrating emerging technologies, particularly Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT), on the resilience and sustainability of supply chains in Portugal. To achieve this, a multiple case study was conducted based on semi-structured interviews with representatives from four multinational companies operating in different sectors in Portugal, allowing for a comparison of the main challenges faced, the opportunities identified, and the strategies implemented.

The findings revealed that the adoption of technological solutions enhanced organizational agility, predictive capabilities, and energy efficiency, contributing to the minimization of operational and environmental risks. The combination of AI and IoT, known as Artificial Intelligence of Things (AIoT), proved to be particularly effective in predictive maintenance, real-time monitoring, and waste reduction. However, some significant barriers to its adoption were also identified, including high implementation costs, a shortage of skilled professionals, and challenges in integrating these technologies into existing processes.

In this context, this study helps bridge a gap in the literature by examining this phenomenon within a Portuguese business environment, providing practical insights and strategic recommendations for an effective and sustainable digital transition. The research reinforces the relevance of AIoT as a cornerstone for the modernization of supply chains towards Industry 5.0.

Keywords: Supply Chain, Artificial Intelligence, Internet of Things, Sustainability, Resilience

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT	IX
ABREVIATURAS	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. CADEIAS DE ABASTECIMENTO: CONCEITO E DESAFIOS.....	4
2.2 RESILIÊNCIA NAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO.....	6
2.3 SUSTENTABILIDADE NAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO	7
2.4 IMPACTO DAS TECNOLOGIAS NAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO	10
2.4.1 <i>Inteligência Artificial</i>	11
2.4.2 <i>Internet das coisas</i>	12
2.5 AIIOT NA RESILIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE DAS EMPRESAS EM PORTUGAL	14
3. METODOLOGIA	17
3.1 ESTRATÉGIA DE INVESTIGAÇÃO	17
3.2 MÉTODO DE RECOLHA DE DADOS.....	18
3.2.1 <i>Revisão da literatura</i>	18
3.2.2 <i>Dados Empíricos</i>	18
4. ANÁLISE DE RESULTADOS	25
4.1 DISRUPÇÕES NAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO.....	25
4.2 IMPACTO DA TECNOLOGIA NA RESILIÊNCIA DAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO.....	28
4.3 IMPACTO DA TECNOLOGIA NA SUSTENTABILIDADE DAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO	30
4.4 OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA ADOÇÃO DE AIIOT NO CONTEXTO PORTUGUÊS	31
5. DISCUSSÃO.....	35
6. CONCLUSÃO	39
DECLARAÇÃO DE IA GENERATIVA E TECNOLOGIAS ASSISTIDAS POR IA NO PROCESSO DE REDAÇÃO	42
LISTA DE PROMPTS	43
BIBLIOGRAFIA.....	44

Índice de Tabelas

TABELA 1 - DESCRIÇÃO DOS ENTREVISTADOS	20
TABELA 2 - TEMAS E RESPECTIVO GUIÃO DE ENTREVISTA.....	22
TABELA 3 - SÍNTESE DAS DISRUPÇÕES IDENTIFICADAS NAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO	27
TABELA 4 - SÍNTESE DO IMPACTO TECNOLÓGICO NA RESILIÊNCIA DAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO ..	29
TABELA 5 - SÍNTESE DO IMPACTO TECNOLÓGICO NA SUSTENTABILIDADE DAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO	31
TABELA 6 - SÍNTESE DAS OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA ADOÇÃO DE AIOT NO CONTEXTO PORTUGUÊS.....	34

Abreviaturas

5G – Quinta geração de redes móveis

AIoT – *Artificial Intelligence of Things* (Inteligência Artificial das Coisas)

COVID-19 – *Coronavirus Disease 2019* (Doença do Coronavírus 2019)

GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

IA – Inteligência Artificial

IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)

IT – *Information Technology* (Tecnologia de Informação)

ML – *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina)

RFID – *Radio Frequency Identification* (Identificação por Radiofrequência)

ROI – *Return on Investment* (Retorno de Investimento)

SCM – *Supply Chain Management* (Gestão da cadeia de abastecimento)

SSCM – *Sustainable Supply Chain Management* (Gestão Sustentável da Cadeia de Abastecimento)

UE – União Europeia

1. Introdução

A capacidade de uma organização em projetar estrategicamente o seu futuro, a médio e longo prazo não é mais considerada uma competência de vantagem competitiva, mas sim, uma competência imperativa de subsistência corporativa (Porter, 2000).

Atualmente, do ponto de vista empresarial, vivem-se tempos paradoxais. Com o crescimento da complexidade e da conectividade dos processos, as organizações têm potenciado a sua eficiência e expandido as suas operações. Embora benéfica, esta transformação também impõe fragilidades, tornando as empresas mais vulneráveis a disrupções sistémicas e eventos inesperados. Segmentando estas ilações, a gestão das cadeias de abastecimento tem sido objeto de estudos exaustivos, impulsionados pelo avanço tecnológico e pela necessidade de adaptação a um mercado volátil, competitivo e digitalizado.

Com a entrada em 2025, as tendências despontantes da Indústria 5.0 colocam um novo foco na personalização em massa, onde a flexibilidade de produção, a agilidade e a adaptação ao consumidor se tornam aspetos imprescindíveis na batalha da competitividade empresarial (Yang et al., 2023).

As oscilações da procura, os obstáculos logísticos e as crescentes imposições regulatórias têm exigido que as cadeias de abastecimento adotem modelos operacionais mais resilientes e sustentáveis. Neste contexto, a transformação digital assume um papel imperativo e tecnologias como IA, IoT, Blockchain, Robótica Colaborativa (Cobots), Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR) têm ganho especial destaque.

Entre estas inovações, a convergência entre IA e IoT, conhecida como AIIoT têm se afirmado como um dos avanços mais impactantes para a resiliência e sustentabilidade das redes de abastecimento. A fusão destas duas tecnologias

representa um avanço significativo na integração de dados, na otimização de processos e na mitigação de riscos. Quando combinadas, a IA e a IoT criam um ecossistema inteligente, proativo e adaptativo, permitindo uma tomada de decisão mais ágil e informada, capaz de antecipar desafios e maximizar a eficiência operacional.

No contexto português, a adoção de AIoT em muitas organizações ainda se encontra num estado primordial. Dados do Eurostat revelam que, em 2024, Portugal continuou abaixo da média da União Europeia (UE) em relação à adoção de IA. Estatisticamente, apenas 9,3% das empresas portuguesas com 10 ou mais colaboradores utilizavam tecnologias de IA, ligeiramente abaixo da média europeia de 13,5% e significativamente abaixo de países como a Dinamarca e a Suécia, que apresentam resultados de 27,6% e 25,1%, respetivamente (Eurostat, 2024).

Este cenário reflete as barreiras estruturais e culturais que tendem a limitar a expansão da AIoT em Portugal. Além disso, desafios como os elevados custos iniciais de planeamento e implementação, a fragmentação da informação e a escassez de profissionais qualificados dificultam ainda mais a adoção desta tecnologia. De facto, um estudo recente aponta que 71% das empresas portuguesas enfrentam dificuldades em contratar recursos humanos com competências digitais adequadas, um valor que supera a média europeia de 44% (RH Magazine, 2024).

De facto, uma grande parte dos estudos existentes concentram-se em soluções técnicas e no potencial revolucionador da AIoT, sem considerar as dificuldades práticas enfrentadas pelas empresas na sua implementação. Alguns trabalhos, como o realizado por (Gubbi et al., 2024), oferecem uma perspetiva abrangente sobre IoT e a sua convergência com IA, no entanto, carecem de uma análise mais precisa aos fatores regionais que dificultam a sua adoção.

Posto isto, a presente dissertação tem como objetivo aprofundar e avaliar o impacto atual das tecnologias emergentes na resiliência e sustentabilidade das cadeias de abastecimento em Portugal, identificando oportunidades, desafios e estratégias de adoção sustentáveis e eficientes.

De forma sintetizada, as principais questões que esta investigação se propõe a responder são as seguintes:

- De que forma a integração de tecnologias emergentes contribui para a resiliência e sustentabilidade das cadeias de abastecimento em Portugal?

- Quais as principais oportunidades e desafios da adoção de AIoT no contexto português?

Para tal, este estudo será estruturado em 3 capítulos fundamentais.

Na revisão da literatura serão aprofundados os conceitos de cadeia de abastecimento, resiliência e sustentabilidade e o impacto das tecnologias emergentes nestes âmbitos.

Na metodologia, serão detalhadas as entrevistas semiestruturadas conduzidas com representantes de empresas a operar em Portugal, cuja análise permitiu complementar e aprofundar a informação recolhida no capítulo anterior.

Já no âmbito da discussão, serão correlacionadas todas as informações recolhidas previamente.

Em jeito de conclusão, esta investigação pretenderá transcender o foro académico e contribuir para a prática empresarial, oferecendo insights estratégicos e operacionais para os gestores e responsáveis pela tomada de decisão.

2. Revisão de Literatura

Com o intuito de aprofundar a compreensão do tema em análise, esta secção apresenta uma revisão da literatura que serve como base para a fundamentação da investigação académica.

Ao longo desta secção serão averiguados os conceitos de resiliência e sustentabilidade, bem como o impacto das tecnologias emergentes, nomeadamente da IA e da IoT, no âmbito das cadeias de abastecimento.

Esta revisão analisará as aplicações e a sinergia entre estas tecnologias, bem como o seu impacto na eficiência operacional, sustentabilidade e resiliência empresarial. Além disso, serão identificadas lacunas na literatura atual e os principais contributos deste estudo, explorando oportunidades e desafios na adoção destas tecnologias em Portugal.

2.1. Cadeias de abastecimento: conceito e desafios

Conforme é reconhecido, as cadeias de abastecimento representam o grande pilar da economia global (Christopher, 2016), interligando fornecedores, produtores e consumidores numa rede de alta complexidade, que engloba o fluxo de materiais, informações e produtos financeiros (Ivanov, 2022).

O termo cadeia de abastecimento compreende todas as atividades, recursos e participantes envolvidos na geração e entrega de um bem ou serviço ao consumidor (Mentzer et al., 2001). Este conceito, representa um ecossistema organizado de pessoas, recursos, atividades e informações que envolve todos os processos desde a aquisição de matérias-primas até à disponibilização do produto, ou serviço, ao cliente final (Mukhamedjanova, 2020).

Atualmente, e como resultado das dificuldades recentes vividas associadas à gestão das cadeias de abastecimento (SCM – Supply Chain Management), é sabido que existe uma maior consciencialização sobre esta temática. Eventos como a pandemia de COVID-19 e os conflitos armados causaram falhas logísticas de grande escala, resultando na escassez de produtos e no aumento dos preços, destacando a fragilidade das cadeias de abastecimento globais e gerando um sentimento de insatisfação geral (Gurtu & Johny, 2021).

A intensificação das oscilações, que refletem as preferências e a procura dos consumidores, tem vindo a evidenciar a importância das práticas de gestão na área (Garcia & You, 2015). Empresas e organizações multinacionais demonstram uma crescente preocupação no seu alinhamento com a responsabilidade social e ambiental, enquanto acentuam os seus esforços para aprimorar e acelerar a transformação digital das suas operações (Youssif et al., 2008).

Este direcionar de esforços, tornou-se crucial, permitindo às organizações, não apenas reduzir custos, como também, melhorar a satisfação do cliente e aumentar a competitividade.

Com o contínuo avanço da tecnologia, a tendência da personalização em massa tem se demonstrado bastante promissora. No entanto, este rumo que o futuro tende a seguir, exige uma maior flexibilidade, agilidade e capacidade de adaptação por parte das organizações (Qin & Lu, 2021).

Diante deste cenário, a cooperação de tecnologias emergentes como a IA e a IoT está a revelar-se chave para o refinar da rastreabilidade, da transparência e da eficiência operacional ao longo de toda a cadeia de abastecimento (Lara & Wassick, 2023).

2.2 Resiliência nas cadeias de abastecimento

Após a compreensão dos fundamentos das cadeias de abastecimento, é essencial analisar um dos pilares da sua subsistência. Embora atualmente seja um conceito amplamente reconhecido, a resiliência nem sempre foi valorizada no mundo dos negócios. Inicialmente, o termo surgiu no âmbito da ciência dos materiais, e representava a capacidade de um material retornar à sua forma original após uma deformação (Sheffi, 2005).

No contexto empresarial, esta compreensão ganhou relevância com o aumento da complexidade dos problemas que as organizações têm vindo a enfrentar e pode ser descrita como a capacidade de um sistema ou organização recuperar e retomar as operações normais após perturbações, crises ou interrupções (Wieland & Durach, 2021).

Além de possibilitar o regresso ao estado operacional anterior, a resiliência pode também levar a um estado otimizado e mais eficiente, fortalecendo a posição da empresa no mercado após uma crise (Christopher & Peck, 2004).

Segundo da Silva & Vale (2023), quanto mais resiliente for uma organização, maior será a sua capacidade em retomar o correto funcionamento das atividades, num curto espaço de tempo.

A resiliência empresarial não é um conceito estático e está vinculada a diversos fatores, dos quais podemos destacar a estratégia e a gestão de riscos, que envolvem planeamento proativo, diversificação da cadeia de abastecimento e planos de continuidade do negócio (Ruiz-Martin et al., 2018). Além disso, a tecnologia e a digitalização desempenham um papel fundamental, permitindo a automação, a monitorização em tempo real e a proteção de infraestruturas digitais contra ameaças.

Adicionalmente a cultura organizacional e a liderança influenciam diretamente a resiliência. Empresas com maior capacidade de tomada de decisão,

de inovação e comunicação eficaz tendem a reagir melhor a imprevistos (Martín-Rojas et al., 2021).

A médio e longo prazo, a sustentabilidade e a responsabilidade social são também consideradas fatores críticos.

Posto isto, é legítimo sustentar a premissa de que este conceito depende da capacidade de alinhamento das empresas nos âmbitos da gestão, estratégia e das operações. Starr, Newfrock e Delurey argumentam a importância deste alinhamento no promover da transparência colaborativa entre todos os participantes da rede (Dhabi & El-Hage, 2003), permitindo uma visão integrada dos riscos e uma coordenação ágil da mitigação de crises.

Kleindorfer & Saad (2005) demarcam duas grandes categorias que afetam as cadeias de abastecimento: os riscos operacionais que constituem todas as atividades entre a o abastecimento e a procura e os riscos disruptivos que representam os eventos de origem externa e inesperada, como as greves, as crises económicas e os desastres naturais.

Dito isto, a resiliência não é resultado de um elemento único, mas sim de um conjunto de práticas e estratégias que, quando integradas de forma correta, poderão conceber às organizações capacidade de enfrentar e superar desafios.

2.3 Sustentabilidade nas cadeias de abastecimento

Tal como a resiliência, a sustentabilidade nem sempre foi uma prioridade na perspectiva do empreendedor. O conceito de sustentabilidade foi abordado pela primeira vez pela Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento em 1987. Robert Solow, durante o seu discurso no Prémio Nobel da Economia em 1987, evidenciou que, do ponto de vista económico, a sustentabilidade significa

assegurar que as gerações futuras tenham a mesma capacidade de bem-estar como a que possuímos atualmente (Solow, 2021).

Este princípio de sustentabilidade é fundamental na Gestão Sustentável das Cadeias de Abastecimento (SSCM – Sustainable Supply Chain Management), uma abordagem que visa integrar a responsabilidade social e ambiental num modelo competitivo, que garanta a viabilidade económica, a longo prazo (Al-Okaily et al., 2024).

De acordo com Leal Filho et al. (2023) esta temática tem vindo a tornar-se um dos principais temas nas agendas da alta administração, não só pelas mudanças regulamentares, mas também para responder às expectativas de todas as partes interessadas, desde consumidores a investidores.

Segundo Thomsen (2024), incorporar a sustentabilidade no processo de decisão proporciona uma visão a longo prazo e reconhece o impacto das organizações nas comunidades e no planeta. Estes aspetos são considerados basilares à luz do debate atual sobre as limitações do capitalismo acionista e o emergir do capitalismo dos stakeholders, onde o foco da criação de valor está em gerar valor para todas partes interessadas de uma empresa (funcionários, clientes, fornecedores, comunidades e planeta).

A transição para uma cadeia de abastecimento sustentável pode proporcionar inúmeros benefícios às organizações, como a redução de riscos, a diferenciação competitiva e o reforço da resiliência operacional. No entanto, implica desafios que devem ser cuidadosamente ponderados e equilibrados, nomeadamente o investimento inicial, a complexidade da rastreabilidade e a necessidade de mudanças culturais dentro das empresas (Seuring & Müller, 2008).

No contexto das cadeias de abastecimento, a sustentabilidade assenta em três dimensões capitais (Barbier, 1987):

- **Dimensão Ambiental:** em conformidade com Clift (2003), o impacto ambiental constitui um dos pilares fundamentais da sustentabilidade, exigindo a implementação de práticas que promovam a redução da pegada ecológica, a otimização do consumo de recursos naturais e a mitigação dos efeitos adversos das atividades económicas no meio ambiente. Neste sentido, a diminuição das emissões de carbono, a gestão eficiente de resíduos, a racionalização do consumo energético e a adoção de modelos circulares assumem-se como transmissores estratégicos imprescindíveis para a construção de uma cadeia de valor sustentável e resiliente.
- **Dimensão Económica:** comumente referido como um dos maiores obstáculos da sustentabilidade, a viabilidade económica das práticas sustentáveis continua a ser um dos principais desafios para as empresas. Apesar de potenciarem melhorias a médio e longo prazo, como a redução de desperdícios, a otimização de processos e a atração de investidores e clientes, os custos iniciais elevados associados à implementação de tecnologias verdes, à reestruturação das cadeias de abastecimento e à adaptação a novas regulamentações podem desencorajar as organizações (Wagner, 2012). Adicionalmente, a dificuldade em visualizar e quantificar o retorno direto do investimento realizado constitui um entrave significativo à mudança (Sudusinghe & Seuring, 2020).
- **Dimensão Social:** a dimensão social da sustentabilidade centra-se na ética, na equidade empresarial e no impacto social de todas as suas operações (D'Eusanio et al., 2019). A garantia de condições de trabalho adequadas, a promoção da diversidade e da inclusão, bem como todas as práticas relacionadas com a responsabilidade social corporativa, possuem

cada vez mais valor para os stakeholders (Kaur & Kander, 2023). Além disso, a aquisição de certificação ambiental e social fortalecem a transparência e a confiança de todas as partes interessadas.

2.4 Impacto das tecnologias nas cadeias de abastecimento

A Indústria 4.0 começou a ganhar destaque em 2011, após ser introduzida durante a Feira de Hannover, na Alemanha. Este movimento conhecido como a quarta revolução industrial pretendeu transformar a produção industrial e otimizar processos ao integrar tecnologias digitais como a IoT, Big Data, blockchain, IA e Machine Learning (Nikishina, 2023).

Soori et al. (2024) sustenta que, de uma perspectiva sumária, o objetivo primordial da quarta revolução industrial era formar indústrias mais inteligentes, conectadas e automatizadas, que melhorassem a eficiência operacional e reduzissem custos.

Mais recentemente, a partir de 2015, começou a surgir a Indústria 5.0, avançando como um movimento mais centrado no ser humano, conforme mencionado por Ashiq (2024), promovendo a colaboração entre humanos e os sistemas inteligentes. À luz do que defende Zafar et al. (2024), esta abordagem realça a sustentabilidade, a resiliência e a integração de robôs colaborativos (cobots) que trabalham em cooperação com o Homem, melhorando a produtividade e a segurança.

Na conjuntura atual, esta fase de transição de revoluções industriais é justificada pelas mudanças significativas existentes nas preferências e nas expectativas dos consumidores. A crescente preocupação com o impacto ambiental e com a responsabilidade social têm vindo a moldar as tendências, e conduziu a procura para produtos, ou serviços, mais personalizados, mas

também mais sustentáveis e éticos. Estas alternâncias no mercado aumentam a pressão empresarial, obrigando as organizações a adotarem formatos mais ágeis, colaborativos e alinhados com a Indústria 5.0, priorizando assim a integração humana, a resiliência e a sustentabilidade (Kumar & Singh, 2025).

2.4.1 Inteligência Artificial

Neste contexto, tal como definido por Pournader et al. (2021), o conceito de IA representa a capacidade dos sistemas computacionais em realizarem tarefas que normalmente exigiam inteligência humana, como aprender, raciocinar, tomar decisões e processar linguagem natural. A IA constitui algoritmos extremamente avançados de análise de grande volume de dados (Big Data), reconhecimento de padrões e automação de processos.

O conceito de IA remonta aos anos 50, quando surgiu o Teste Turing, proposto por Alan Turing, cujo objetivo seria avaliar se uma máquina poderia apresentar comportamento inteligente, equivalente ou semelhante ao ser humano (Akman & Blackburn, 2000). Embora esta concepção tenha estabelecido as bases filosóficas e técnicas para o desenvolver da IA, foi John McCarthy, em 1955, quem atribuiu este termo à capacidade das máquinas em resolver problemas tradicionalmente atribuídos aos humanos (McCarthy et al., 2006).

A evolução da IA teve o seu início com sistemas baseados em regras e lógica formal, entretanto, com o aumento da capacidade computacional e o avanço de Machine Learning, surgiu o desenvolvimento de redes neurais artificiais e deep learning, viabilizando a possibilidade de aprendizagem e tomada de decisão a partir de grande volume de dados (Soori, Jough, et al., 2024).

Atualmente, surge a questão de se podemos ou não afirmar que a IA se encontra numa fase avançada, ou se esta se encontra apenas nos estágios embrionários de um desenvolvimento potencialmente infinito e exponencial. No

entanto, sob a ótica do progresso, é inegável, que atualmente, a IA já atingiu um patamar de complexidade e diferenciação notável, impulsionado pela evolução dos modelos de Deep Learning e IA Generativa (Dias & Lauretta, 2024).

O desenvolvimento de transformers, sistemas de autoaprendizagem e arquiteturas preditivas de grande escala, revolucionou a IA e aproximou-a das capacidades cognitivas humanas nos âmbitos da interpretação semântica, reconhecimento de padrões e tomada de decisão (Chen et al., 2024).

No âmbito das cadeias de abastecimento, a IA tem impulsionado uma transformação estrutural na sua gestão, promovendo eficiência, resiliência e sustentabilidade. Entre as suas principais aplicações, podemos destacar a otimização da logística, através de algoritmos preditivos que antecipam tendências de procura e otimizam rotas de transporte, a mitigação de riscos, através de análise de dados que antevêm disrupções. Além destas, a IA também oferece um grande contributo para a sustentabilidade empresarial, com principal destaque para a redução do consumo energético e a monitorização de emissões de carbono, e para a automação operacional, melhorando a eficiência e comunicação com clientes e fornecedores através de chatbots e assistentes virtuais (Yadav et al., 2024).

No entanto, apesar de todo o potencial benéfico, a adoção de IA ainda enfrenta certos desafios como: altos custos de implementação, que afasta a adoção por pequenas e médias empresas, a dependência de dados de qualidade e a preocupação com segurança e privacidade de dados.

2.4.2 Internet das coisas

Por outro lado, em conformidade com Gkagkas et al. (2024), a IoT fundamenta-se no modelo OSI (Open Systems Interconnection), onde os dispositivos se conectam através da camada física da rede e enviam informações para sistemas

digitais, funcionando assim como uma ponte entre o mundo real e os sistemas de informação.

Ben-Daya et al. (2019) refere que a IoT é a conexão de dispositivos inteligentes que adquirem, processam e enviam dados em tempo real, promovendo a automação e a otimização de processos.

Tal como referido por Ibarra-Esquer et al. (2017), esta tecnologia começou a ganhar forma no final da década de 90, quando Kevin Ashton explorou como é que os dispositivos poderiam ser interligados para desenvolver sistemas autónomos e inteligentes. Tal como a IA, a IoT, tem sido impulsionada pela evolução da capacidade computacional, pelo Big Data e pelo avanço de infraestruturas de comunicação, como as redes 5G, que possibilitam a transmissão de dados em alta velocidade e reduzida latência.

Quando aplicada na cadeia de abastecimento, esta estratégia tecnológica, tende a aumentar a visibilidade, a eficiência e a resiliência de todas as atividades. Entre as principais aplicações da IoT nas cadeias de abastecimento, é seguro destacar a otimização da logística, através de sensores que monitorizam o estado de produtos ao longo de toda a cadeia, assegurando as condições ideais de produtos sensíveis, a gestão preditiva de manutenção, através da deteção de padrões de desgaste em equipamentos e posterior intervenção antes que a falha ocorra, reduzindo custos operacionais e tempos de inatividade (Zhong et al., 2017). Adicionalmente, a IoT também possui um papel importante na gestão sustentável das cadeias de abastecimento, permitindo a monitorização do consumo de energia e otimização de recursos (Morchid et al., 2024).

A título de exemplo, a Identificação por Radiofrequência (RFID) e o Sistema de Posicionamento Global (GPS) são duas tecnologias amplamente utilizadas nesse tipo de procedimento que, quando aplicadas convenientemente visam otimizar a rastreabilidade e a gestão de inventários (Tan & Sidhu, 2022).

Relativamente às barreiras de adoção, a IoT enfrenta desafios como altos custos de implementação, a segurança da grande quantidade de informações transmitidas em redes conectadas e a interoperabilidade entre diferentes sistemas (Zainuddin et al., 2024).

2.5 AIoT na resiliência e sustentabilidade das Empresas em Portugal

De acordo com Martin et al. (2023), a AIoT representa a integração da IA e da IoT, originando um método onde além de recolher e transmitir dados, os dispositivos, que neste caso passam a ser considerados inteligentes, analisam e tomam decisões autónomas em tempo real.

Esta fusão permite às organizações conjugar e complementar mais valias de ambas a tecnologias, promovendo a otimização de operações, a previsão de falhas, a redução de desperdícios e a melhoria da sustentabilidade (Maria Freire Fernandes Mestrado em et al., 2024).

Na realidade portuguesa, a adoção de AIoT tem vindo a revolucionar estrategicamente setores distintos, como a saúde, a indústria, a logística e a gestão energética, contribuindo para o avanço na caminhada dos modelos operacionais mais eficientes e sustentáveis.

A título de exemplo, no âmbito da gestão energética, empresas em Portugal têm recorrido à implementação de sensores inteligentes e algoritmos de IA para monitorizar e otimizar a energia nas suas infraestruturas. Este modelo ajusta a climatização e a iluminação com base na ocupação e nas condições ambientais, reduzindo custos operacionais e a pegada de carbono (Crowe Portugal, 2024).

Outro exemplo a referir pode ser a manutenção preditiva utilizada na indústria, onde sensores IoT monitorizam o desempenho e recolhem dados de

máquinas e equipamentos e, através da integração com algoritmos de IA, preveem falhas. Esta metodologia permite uma abordagem proativa, reduzindo tempos de inatividade e prolongando a vida útil dos equipamentos, garantindo maior resiliência e eficiência produtiva (IAPMEI, 2022).

Diferente dos estudos existentes, que tendem a analisar a AIoT sob uma ótica predominantemente teórica ou aplicada em mercados mais desenvolvidos, como os Estados Unidos e os países do Norte da Europa, onde os investimentos em inovação e as infraestruturas tecnológicas são substancialmente superiores, esta investigação propõe uma abordagem empírica contextualizada à realidade portuguesa, colmatando uma lacuna crítica na literatura.

Tal como o exposto por Kuguoglu et al. (2021), a maioria das investigações sobre AIoT foca-se na aplicação destas tecnologias em países com alta maturidade digital e recursos avançados. No entanto, o contexto português apresenta desafios específicos que ainda não foram amplamente explorados na literatura, nomeadamente as barreiras estruturais, os custos de implementação, a fragmentação dos ecossistemas digitais e a escassez de profissionais qualificados na área da AIoT. Através da recolha de dados empíricos e da interação com empresas que implementam ou pretendem adotar este tipo de tecnologia, pretende-se identificar os principais fatores que influenciam a sua integração, bem como mapear estratégias que permitam uma adoção eficiente, sustentável e alinhada com as exigências da Indústria 5.0.

Além de contribuir para o desenvolvimento teórico sobre a interseção entre IA, IoT e cadeias de abastecimento inteligentes, este estudo tem como objetivo fornecer insights estratégicos para gestores e decisores empresariais, auxiliando na formulação de políticas e boas práticas que facilitem a transição digital das organizações portuguesas. Dessa forma, espera-se consolidar um modelo de inovação e transformação digital que posicione as empresas nacionais de forma

competitiva num mercado global cada vez mais orientado para a automação inteligente e a sustentabilidade.

3. Metodologia

3.1 Estratégia de Investigação

A presente investigação segue uma abordagem qualitativa baseada num estudo de caso múltiplo, que, segundo (Yin, 2003), é adequada para a análise de fenómenos complexos no seu contexto real, como é o caso do impacto da implementação de tecnologias despontantes nas cadeias de abastecimento em Portugal.

Este estudo incide sobre quatro empresas multinacionais que operam em diferentes setores de mercado, permitindo uma análise comparativa. A escolha do número de empresas abordadas segue a recomendação de Eisenhardt (1989), que considera que entre 4 e 10 estudos de caso são satisfatórios para identificar padrões e possibilitar comparações significativas em investigações qualitativas.

A metodologia a ser conduzida envolverá duas vertentes principais:

- ✓ Revisão da literatura existente, onde será consolidado o conhecimento teórico sobre o objeto de estudo, identificando oportunidades e desafios.
- ✓ Estudo empírico através da realização de entrevistas semiestruturadas com colaboradores de empresas multinacionais a operar em Portugal, impulsionando o entendimento real das estratégias utilizadas, dificuldades vivenciadas e perspetivas para o futuro.

3.2 Método de Recolha de dados

3.2.1 Revisão da literatura

A revisão da literatura teve como objetivo identificar os conceitos-chave, tendências e desafios associados à aplicação das tecnologias, com ênfase na AIoT, nas cadeias de abastecimento, analisando o seu impacto direto na resiliência e sustentabilidade dessas redes. Para tal, foram utilizadas bases de dados científicas como Scopus, Web of Science e Google Scholar, utilizando palavras-chave como “resilience in supply chain management”, “sustainable supply chain”, “AIoT in supply chains”.

Os critérios de seleção das fontes de informação foram cuidadosamente definidos para garantir a seleção de artigos recentes, com especial atenção a publicações dos últimos dez anos, provenientes de fontes académicas reconhecidas Webster & Watson (2002).

Além disso, foram priorizados estudos que abordassem especificamente a interseção entre AIoT, resiliência e sustentabilidade empresarial, com foco particular em avanços tecnológicos mais recentes, dada a rápida evolução destas áreas.

3.2.2 Dados Empíricos

Posteriormente, foram realizadas entrevistas semiestruturadas, de natureza qualitativa, a representantes de empresas multinacionais com presença em Portugal, que, à luz do que defende Bryman (2016), possibilitam a obtenção de perceções detalhadas sobre experiências e práticas organizacionais.

Estas entrevistas seguirão um guião, que funcionará como uma base flexível, permitindo ao entrevistador aprofundar a exploração de tópicos específicos, conforme as respostas dos entrevistados.

Para mitigar possíveis imprecisões, seguiram-se as seguintes boas práticas metodológicas:

- Triangulação dos dados: as informações recolhidas foram posteriormente comparadas com informações presentes nos relatórios das empresas e na literatura académica, de modo a aumentar a confiabilidade (Santos et al., 2020).
- Garantia de anonimato: as empresas e os entrevistados serão referenciados por identificadores codificados, assegurando a confidencialidade das informações fornecidas (Lincoln, 2000).
- Protocolos de consentimento: todos os participantes foram contextualizados sobre o objeto de estudo e autorizaram a gravação e transcrição das entrevistas, conforme recomendações éticas de pesquisa qualitativa (Orb, 2001).

Através deste método, será possível realizar uma análise detalhada das práticas e estratégias utilizadas pelas empresas nas suas cadeias de abastecimento.

- **Perfil dos entrevistados:** dois colaboradores de cada organização, perfazendo um total de 8 entrevistados, descritos na tabela 1, com envolvimento direto na SCM e na transformação digital. Esta escolha de dois representantes por organização visa minimizar possíveis parcialidades individuais e proporcionar uma visão mais equilibrada e representativa do contexto analisado (Bispo Júnior, 2022).

Tabela 1 - Descrição dos Entrevistados

Empresa	Dimensão ¹	Setor	Entrevistado	Posição	Experiência
Empresa A	Grande	Infraestruturas e Sistemas Inteligentes	Entrevistado 1 (A1)	Project Manager	2 anos
			Entrevistado 2 (A2)	Sustainability Manager	7 anos
Empresa B	Grande	Engenharia e Construção	Entrevistado 3 (B1)	IT Engineer	4 anos
			Entrevistado 4 (B2)	Production Engineer	3 anos
Empresa C	Grande	Indústria de Materiais e Transformação	Entrevistado 5 (C1)	Industrial Process Engineer	11 anos
			Entrevistado 6 (C2)	Sustainability Manager	5 anos
Empresa D	Grande	Transportes e Mobilidade	Entrevistado 7 (D1)	Quality Manager	22 anos
			Entrevistado 8 (D2)	Operations Manager	31 anos

- **Crítérios de seleção:** Empresas multinacionais de distintos setores, a operar em Portugal, que adotaram ou estão em processo de adoção de tecnologias que impactem diretamente na SCM. A preferência por organizações consideradas grandes deve-se ao facto de estas tenderem a

¹ O critério de classificação da dimensão das empresas, seguiu a Recomendação 2003/361/CE da Comissão Europeia, onde uma empresa é classificada como grande se exceder pelo menos um dos seguintes critérios: (i) possuir mais de 250 empregados; (ii) ter um volume de negócios anual superior a 50 milhões de euros; ou (iii) apresentar um balanço total superior a 43 milhões de euros (Comissão Europeia, 2003).

estar na vanguarda da transformação digital, evidenciando casos representativos do impacto das tecnologias na SCM (Ivanov, 2022).

Além disso, a inclusão de empresas colocadas em diferentes setores de mercado e em diferentes estágios de maturidade tecnológica permite obter uma visão mais abrangente dos desafios e benefícios envolvidos em todo o processo.

- **Estrutura da entrevista:** Com o intuito de compreender de forma intrínseca o impacto da aplicação prática das tecnologias emergentes nas dimensões investigadas, nomeadamente na resiliência e na sustentabilidade organizacional, foi elaborado um guião de entrevista destinado a recolher informações diretamente do mundo empresarial. Este guião baseia-se nos conceitos explorados na revisão da literatura e tem como objetivo compreender a visão das empresas relativamente a estas dimensões, analisando as suas práticas, principais desafios e perspetivas para o futuro próximo.

O guião é composto por questões semiestruturadas, permitindo aos entrevistados enquadrar as suas respostas no seu contexto específico e detalhá-las conforme necessário (Oliveira et al., 2023).

As questões elaboradas abordam o cerne deste estudo, centrando-se na resiliência, na sustentabilidade e na aplicação de tecnologias emergentes na cadeia de abastecimento. O objetivo é compreender de que forma estes elementos se interligam, identificando desafios, oportunidades e estratégias adotadas pelas empresas para promover a eficiência, a competitividade e a adaptação a um mercado em constante evolução.

Tabela 2 - Temas e respetivo guião de entrevista

Tema	Questão	Autores ²
Contextualização	Como descreveria o papel da empresa no mercado e na cadeia de abastecimento, tanto a nível local como global?	
	Quais considera os principais desafios que a empresa enfrenta atualmente?	Carvalho & Lima (2024)
Sustentabilidade nas cadeias de abastecimento	Até ao momento, que medidas foram implementadas com a finalidade de reduzir o impacto ambiental?	
	Como é que as exigências regulatórias europeias têm influenciado as operações?	da Silva & Vale (2023)
	Existe pressão por parte dos stakeholders para aumentar a sustentabilidade nos produtos e nos processos?	
	Como a empresa equilibra a sustentabilidade com custos competitivos?	
Resiliência nas cadeias de abastecimento	Tem memória de algum evento recente, que tenha posto à prova a resiliência da cadeia de abastecimento da organização?	
	Que estratégias utilizam para lidar com interrupções no fornecimento ou no transporte?	

O papel disruptivo da tecnologia	Como avalia o impacto das tecnologias emergentes, como a IA ou a IoT, na forma como a empresa gere a sua cadeia de abastecimento?	Al-Okaily et al. (2024)
IA	Internamente, a IA já é considerada para a melhora de processos na cadeia de abastecimento?	
	Que barreiras enfrentam na adoção da IA em Portugal?	
IoT	A empresa recorre a dispositivos IoT para monitorizar e otimizar operações ao longo de toda a cadeia de abastecimento, nomeadamente no rastrear da localização, nas condições dos produtos ou no desempenho dos serviços?	
	Quais os principais benefícios que esta estratégia proporciona à organização?	Fernandes et al. (2024)
Integração e perspectivas futuras	A empresa já implementa soluções que combinam IA e IoT?	
	A integração destas três dimensões (tecnologia, sustentabilidade e resiliência) é encarada como uma estratégia viável tanto em termos operacionais como financeiros?	
	A empresa tem planos para adotar novas tecnologias ou práticas que possam reforçar a sustentabilidade	

	e resiliência da cadeia de abastecimento? Se sim, quais?	
	Se pudesse apontar uma mudança essencial que deveria ocorrer nas cadeias de abastecimento para enfrentar os desafios futuros, qual seria e porquê?	

² As células da tabela que não apresentam atribuição explícita de autoria correspondem a contribuições originais do autor desta investigação, fundamentadas no estudo teórico aprofundado e na análise crítica dos conceitos explorados.

4. Análise de Resultados

Tal como já foi exposto, o presente estudo procura responder a duas questões centrais: de que forma a integração de tecnologias emergentes contribui para a resiliência e sustentabilidade das cadeias de abastecimento em Portugal e quais as principais oportunidades e desafios da adoção de AIoT no contexto português.

Para tal, a investigação foca-se na análise dos resultados obtidos através das entrevistas realizadas, permitindo um aprofundamento da experiência partilhada pelos entrevistados, posicionados em diferentes níveis da rede de abastecimento. Esta abordagem visa proporcionar uma visão abrangente e detalhada sobre a integração dos conceitos de resiliência, sustentabilidade e tecnologias disruptivas no contexto das cadeias de abastecimento, contribuindo para uma compreensão mais clara dos desafios e oportunidades que estas inovações representam.

4.1 Disrupções nas cadeias de abastecimento

Após a condução das entrevistas e subsequente análise dos relatos obtidos, emergiram padrões que permitiram identificar um conjunto de desafios e ameaças inerentes à gestão das cadeias de abastecimento. Apesar das particularidades de cada setor, a comparação dos depoimentos fornecidos pelos representantes das empresas permitiu estruturar os riscos e as disrupções mais impactantes.

No que diz respeito às disrupções no abastecimento, foi mencionado pelos entrevistados B1, B2, C1 e D2, e apoiado por C2 (*“Hoje em dia, os clientes querem tudo personalizado e com prazos cada vez mais curtos. Isso torna muito difícil prever a procura e gerir os stocks de forma eficiente”*), que a imprevisibilidade da procura por

produtos e serviços, aliada à crescente exigência dos consumidores por personalização e prazos de entrega reduzidos, tem representado um desafio significativo para a gestão das redes de abastecimento.

Além disso, evidenciado pelos entrevistados A1, A2, D1, e reforçado por C1 que referiu que *“as exigências de qualidade e personalização por parte dos clientes são cada vez mais elevadas, o que dificulta a normalização de processos”*, a pressão por inovação constante e diferenciação de produtos ou serviços exige maior flexibilidade na produção, podendo vir a gerar ineficiências e maiores custos operacionais devido à dificuldade de equilibrar economias de escala com personalização.

Intrinsecamente ligado ao contexto político-económico português, os entrevistados também apontaram a escassez de profissionais qualificados como um obstáculo à implementação de medidas inovadoras nas cadeias de abastecimento, conforme referido por A1, A2, D1 e D2. Segundo D2 *“a carga fiscal elevada e os salários pouco competitivos tornam o mercado de trabalho menos atrativo para talentos especializados, levando a uma fuga de profissionais para mercados internacionais”*.

Em paralelo, de acordo com os entrevistados A1, B2, C1, D1 e D2, a volatilidade dos custos operacionais e a incerteza no preço das matérias-primas e da energia constituem desafios que impactam diretamente a competitividade das organizações. Como referiu um dos entrevistados, *“Os preços estão sempre a mudar, nunca conseguimos ter uma previsão certa, e isso torna o planeamento muito mais complicado”* (Entrevistado D1). De facto, as oscilações nos custos dos combustíveis, eletricidade e matérias-primas essenciais dificultam a formulação de estratégias financeiras estáveis, exigindo um planeamento mais ágil e modelos de previsão sofisticados para mitigar riscos financeiros.

Por sua vez, destacado por A2, B2, C1, C2 e D2, o ambiente geopolítico instável e a dependência de fornecedores internacionais introduzem riscos externos

acrescidos nas cadeias de abastecimento. Conflitos internacionais, como a guerra na Ucrânia e as tensões comerciais entre grupos económicos, potenciam atrasos logísticos e o aumento de encargos financeiros aplicados ao comércio internacional, afetando diretamente diversos setores. Como referiu B2, *"Basta haver um problema num país fornecedor para sentirmos o impacto quase imediato. Houve momentos em que ficámos semanas à espera de materiais essenciais e sem alternativa viável no mercado nacional"*.

Por fim, as disrupções decorrentes do surgimento da pandemia da COVID-19 foram mencionadas por quase todos os entrevistados como algo que *"ninguém previa"*, destacando-se como um evento que colocou as empresas no limiar do seu sustento e prosperidade organizacional. Esta crise revelou e acentuou fragilidades estruturais, resultantes de restrições logísticas severas, ruturas no fornecimento de matérias-primas e atrasos nos processos produtivos, impactando significativamente a resiliência das cadeias de abastecimento.

Visando a consolidação das principais disrupções identificadas nas cadeias de abastecimento, apresenta-se, de seguida, uma tabela síntese que reúne as informações expostas e adquiridas nas entrevistas realizadas.

Tabela 3 - Síntese das disrupções identificadas nas cadeias de abastecimento

Disrupções nas cadeias de abastecimento	Riscos das cadeias de abastecimento
Disrupções Internas	Riscos Internos
<ul style="list-style-type: none"> • Imprevisibilidade da procura e personalização em massa • Pressão por inovação e flexibilidade na produção • Escassez de mão de obra qualificada e fuga de talentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade na gestão de stocks devido a variações da procura. • Risco de ineficiências operacionais e aumento de custos.

Disrupções Externas	Riscos Externos
<ul style="list-style-type: none"> • Volatilidade dos custos operacionais e matérias-primas. • Ambiente geopolítico instável e dependência de fornecedores internacionais. • Impactos da pandemia da COVID-19 na cadeia de abastecimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento dos custos energéticos e matérias-primas devido a fatores externos. • Conflitos internacionais e barreiras comerciais. • Impacto de crises globais na logística e fornecimento.

4.2 Impacto da tecnologia na Resiliência das cadeias de abastecimento

Realizadas as entrevistas, constatou-se, de forma consensual, que a adoção de tecnologias emergentes tem-se revelado um fator determinante na capacidade das empresas em antecipar, resistir e recuperar de disrupções operacionais.

Em conformidade com os entrevistados A2, B1, B2, C1 e D1, as estratégias adotadas de digitalização e automação resultaram num aumento da eficiência e numa redução da vulnerabilidade perante falhas operacionais. A título de exemplo, o representante B2, referiu que *“a adoção do modelo de construção industrializada, aliado à pré-fabricação digital e automação de processos, permitiu reduzir a dependência de fornecedores externos e mitigar atrasos na entrega de materiais”*.

Já os entrevistados A1 e D2 evidenciaram a importância da implementação de sistemas inteligentes de monitorização de frota em tempo real, permitindo que sensores inteligentes recolham dados e utilizem algoritmos preditivos para prevenir falhas mecânicas, otimizar a manutenção e reduzir tempos de inatividade.

Também os entrevistados B1 e C1 realçaram o papel valoroso da incorporação de IA e IoT na previsão das necessidades de materiais, na monitorização de stock

e na otimização do transporte, reduzindo custos logísticos, mitigando rupturas de stock, e garantindo o controlo da qualidade. Pelo que, o representante C1 afirmou que *“a utilização de sensores inteligentes para monitorização das condições ambientais do transporte dos produtos permite maior controlo da qualidade e redução de perdas”*.

Assim sendo, neste percurso de imersão no domínio tecnológico, as empresas abordadas declararam que esta estratégica tem fortalecido a sua capacidade de resposta a disrupções operacionais, conferindo maior agilidade, resiliência e eficiência às suas cadeias de abastecimento.

Tal como no subtópico anterior, em seguida expõe-se uma tabela resumo com as principais vantagens identificadas na adoção de tecnologia para o aumento da resiliência das cadeias de abastecimento.

Tabela 4 - Síntese do impacto tecnológico na resiliência das cadeias de abastecimento

Domínio Tecnológico	Impacto Estratégico
Digitalização e Automação	<ul style="list-style-type: none"> - Redução da dependência de fornecedores críticos; - Otimização do planeamento logístico; - Melhoria da eficiência produtiva e redução de desperdícios; - Capacidade de resposta mais rápida a crises e disrupções;
IA	<ul style="list-style-type: none"> - Previsão de falhas operacionais e rupturas de stock; - Gestão preditiva de necessidades de materiais; - Otimização do transporte e alocação de recursos;
IoT	<ul style="list-style-type: none"> - Monitorização contínua de ativos logísticos; - Maior precisão no controlo de stocks e transporte; - Análise de dados em tempo real para decisões mais ágeis; - Redução do tempo de inatividade dos equipamentos através de manutenção preditiva;

4.3 Impacto da tecnologia na Sustentabilidade das cadeias de abastecimento

Além da resiliência operacional, também a integração de práticas sustentáveis se tem vindo a consolidar como essencial na estratégia organizacional. De facto, os entrevistados B2 e C2 destacaram que a adoção de processos digitalizados e automatizados permitiu minimizar desperdícios significativos de materiais e otimizar o consumo energético nas operações produtivas. Segundo C2, *"a automação na transformação da matéria-prima tem sido essencial para maximizar o aproveitamento dos recursos e reduzir as emissões associadas ao processo produtivo"*.

Foi também realçado por C2 que a implementação de IA e sensores inteligentes no transporte dos produtos tem permitido um controlo mais rigoroso das condições ambientais, impulsionando melhorias na eficiência energética, no armazenamento e no transporte.

No setor da mobilidade, os entrevistados D1 e A2 mencionaram que *"a adoção de sensores IoT avançados na gestão de frota permitiu otimizar o consumo de combustível e reduzir as emissões de CO₂"*.

Além disso, em conformidade com B2, esta abordagem tem vindo a impulsionar a integração de soluções de economia circular nos projetos, visando a redução de resíduos e o reaproveitamento de materiais.

Face aos resultados obtidos na temática da sustentabilidade, é possível afirmar que, de forma unânime, os entrevistados evidenciaram o alinhamento entre inovação tecnológica e sustentabilidade, projetando modelos de abastecimento mais eficientes, transparentes e ambientalmente responsáveis.

A seguinte tabela resume os principais benefícios da adoção de tecnologia na sustentabilidade das cadeias de abastecimento, conforme evidenciado pelas empresas entrevistadas.

Tabela 5 - Síntese do impacto tecnológico na sustentabilidade das cadeias de abastecimento

Domínio Tecnológico	Impacto Estratégico
Digitalização e Automação	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do desperdício de materiais através da otimização dos processos; - Maior eficiência energética na produção e logística; - Implementação de modelos de economia circular para reaproveitamento de recursos;
IA	<ul style="list-style-type: none"> - Gestão inteligente do consumo energético com base em previsões preditivas; - Redução da pegada de carbono através da otimização do transporte; - Monitorização e ajuste dinâmico da cadeia de abastecimento para minimizar desperdícios;
IoT	<ul style="list-style-type: none"> - Monitorização contínua das condições ambientais nos processos produtivos e logísticos; - Maior precisão na gestão de recursos naturais e emissões; - Otimização do consumo de combustível e eficiência energética na gestão de frotas;

4.4 Oportunidades e desafios da adoção de AIoT no contexto português

Tal como já foi referido anteriormente, a convergência entre IA e IoT, conhecida como AIoT, constitui uma das grandes tendências a nível global. Depois de uma análise detalhada às informações transmitidas pelos representantes organizacionais, é plausível afirmar que esta tecnologia é fonte impulsionadora de transformação operacional, otimização de recursos e reforço da sustentabilidade nos diferentes setores analisados.

Face aos elementos apurados, constata-se que a principal oportunidade da adoção das tecnologias AIoT em Portugal reside na melhoria substancial da eficiência operacional, da capacidade preventiva e do controlo em tempo real das operações ao longo da cadeia de abastecimento.

Importa destacar que, embora se encontrarem em diferentes estágios de maturidade tecnológica, todas as empresas analisadas demonstram já possuir abordagens concretas neste domínio.

Em conformidade com C1, *“Hoje já usamos plataformas com sensores inteligentes e IA, que nos ajudam a planear melhor e com mais eficiência. Conseguimos saber exatamente quando as peças são produzidas, transportadas e instaladas.”* A monitorização em tempo real dos equipamentos permitiu à organização melhorar a gestão de utilização de equipamentos e reduzir o tempo ocioso, reforçando a produtividade.

A capacidade de antecipar falhas ou necessidades, referido por A1, B2, D1 e D2, também se revelou um dos grandes impactos positivos deste aliar de tecnologias, contribuindo para um grande avanço em matéria de práticas preventivas. Segundo D2, *“através dos dados do tacógrafo digital e sensores inteligentes, integrados nos veículos, conseguimos antecipar padrões de desgaste e planear a manutenção antes de ocorrer uma avaria”*. Esta estratégia além de contribuir para o aumento da fiabilidade do serviço e para a segurança da operação, reduz tempos de inatividade e os custos de manutenção corretiva.

Além disso, também a visibilidade em tempo real dos fluxos operacionais, equipamentos e recursos, se tem demonstrado como um trunfo fornecido pela cooperação. Apesar de ainda num estágio primordial, a empresa C já implementa sensores ambientais inteligentes para garantir a qualidade dos produtos.

Contudo, apesar das oportunidades evidenciadas, a adoção de tecnologias AIoT em Portugal não está isenta de desafios.

Referido pelos entrevistados A1, B1, B2, C1, D1 e D2, o elevado custo da transformação digital e da implementação de soluções AIoT constitui um desafio transversal. A integração de sensores inteligentes, algoritmos de IA, plataformas de análise e redes de comunicação robustas exige um investimento considerável, o que pode representar um obstáculo significativo, tal como apontado por B2, que citou *“atualmente já existem inúmeras soluções, no entanto, nem todas são possíveis de equilibrar com a rentabilidade exigida”*.

Associado a este fator, realçado pelos entrevistados C1 e D2, surge a dificuldade em quantificar o retorno direto sobre o investimento (ROI) a curto prazo, especialmente quando os ganhos são distribuídos por diversas áreas operacionais e não são imediatamente visíveis.

Fundamentado pelos entrevistados B1, B2, C1 e C2, outro entrave recorrente identificado prende-se com a dificuldade em atrair e reter profissionais qualificados, com competências técnicas nas áreas de ciência de dados, IA e integração de sistemas IoT. Esta limitação compromete a capacidade das organizações em desenvolver, adaptar e escalar soluções tecnológicas de forma eficiente. Adicionalmente, a curva de aprendizagem associada à utilização destas ferramentas, bem como a sua complexidade técnica, constituem desafios significativos para as equipas operacionais. No caso dos colaboradores já integrados nas organizações, o tempo necessário para a adaptação e aprendizagem destes novos sistemas pode ser elevado, impactando temporariamente a produtividade. Acresce ainda o facto de, em alguns casos, se verificar uma resistência inicial à mudança, motivada por receios face à substituição de processos familiares por soluções tecnológicas, o que exige uma gestão de mudança cuidadosa e estratégias eficazes de capacitação e envolvimento.

D1 e D2, também mencionaram a dificuldade em integrar estas soluções no dia a dia das atividades operacionais, ao referir que: *“os dados estão lá, mas é preciso*

saber usá-los bem. O valor só aparece quando conseguimos interpretar os indicadores e atuar em função disso”.

Por fim, além destes fatores, também a segurança e confiabilidade dos dados foi uma das preocupações mencionadas por A2, B1 e D1.

Tabela 6 - Síntese das Oportunidades e Desafios da adoção de AIoT no contexto português

Oportunidades	Desafios
<ul style="list-style-type: none">- Melhoria da eficiência operacional;- Capacidade preditiva;- Aumento da visibilidade operacional;- Redução do desperdício;- Maior sustentabilidade;- Automação de processos;- Apoio à tomada de decisão;- Maior segurança operacional;	<ul style="list-style-type: none">- Elevado custo de implementação;- Dificuldade em quantificar o ROI;- Escassez de profissionais qualificados;- Curva de aprendizagem elevada;- Resistência à mudança;- Dificuldade na integração operacional;- Segurança e confiabilidade dos dados;- Dependência tecnológica;

5. Discussão

Concluída a fase de análise de resultados, o presente capítulo visa estabelecer uma ponte entre os dados empíricos recolhidos e os conceitos teóricos expostos durante a revisão literária. De forma sintetizada, pretende-se apurar em que medida a incorporação de tecnologias emergentes, nomeadamente a AIoT, potencia a resiliência e a sustentabilidade das cadeias de abastecimento em Portugal, ao mesmo tempo que se analisam os desafios e oportunidades que marcam o seu processo de adoção.

Os resultados obtidos evidenciam que a integração tecnológica tem vindo a desempenhar um papel fundamental na evolução das cadeias de abastecimento. Em particular a digitalização e a adoção de soluções baseadas em IA e IoT permitiram às organizações antecipar falhas, reduzir dependências externas, agilizar processos logísticos e otimizar a utilização de recursos. Estes ganhos refletem-se em melhorias tanto ao nível da continuidade operacional como na redução do impacto ambiental e na promoção de maior transparência nas operações.

Relativamente à sustentabilidade, os dados recolhidos demonstram um compromisso crescente das empresas com práticas ambientalmente responsáveis, assente na redução de emissões, minimização de desperdícios e eficiência energética. Em simultâneo, foram registados avanços ao nível das dimensões económica (através de ganhos de produtividade e eficiência) e social (melhoria das condições operacionais e rastreabilidade).

Em matéria de adoção da AIoT no contexto português, os dados empíricos recolhidos refletem uma realidade marcada por avanços relevantes, mas ainda assim assimétricos e condicionados por limitações estruturais. A literatura descreve a AIoT como um impulsionador da transformação digital das cadeias

de abastecimento, ao conjugar capacidades analíticas e de monitorização em tempo real (Martin et al., 2023). Esta premissa é confirmada pelos dados recolhidos, que apontam para ganhos ao nível da eficiência operacional, manutenção preditiva, previsibilidade e sustentabilidade ambiental.

Contudo, os testemunhos recolhidos também identificam diversas barreiras à adoção plena da AIoT em Portugal, nomeadamente o elevado custo de implementação, a escassez de talento com competências digitais e a dificuldade em medir o retorno do investimento no curto prazo. A carência de profissionais qualificados revelou-se uma limitação transversalmente sentida, dificultando tanto o desenvolvimento de soluções personalizadas como a gestão da mudança organizacional.

De facto, no espectro mais lato da reflexão, estas conclusões específicas da realidade nacional espelham muitos dos fundamentos teóricos expostos. No que respeita à resiliência organizacional, a literatura define-a como uma combinação de competências, englobando a capacidade preditiva, a adaptabilidade e a capacidade de aprendizagem contínua (Ruiz-Martin et al., 2018). Os dados recolhidos sustentam esta visão, evidenciando que a digitalização e a integração de IA e IoT têm reforçado a capacidade das organizações em antecipar falhas, reduzir dependências externas e responder rapidamente a imprevistos.

No que diz respeito à sustentabilidade nas cadeias de abastecimento, a literatura é clara ao afirmar que deve assentar num equilíbrio entre as suas três dimensões: ambiental, económica e social (Barbier, 1987). Para além disso, autores como Al-Okaily et al. (2024) e Leal Filho et al. (2023) destacam a transformação digital como vital na implementação de práticas sustentáveis, ao impulsionar a otimização de recursos, a monitorização ambiental e a integração de modelos circulares, aspetos verificados neste estudo.

Contudo, também os principais entraves teóricos são verificados na realidade portuguesa: o elevado custo de implementação, a escassez de mão de obra

qualificada e a dificuldade em quantificar o retorno do investimento a curto prazo.

Em consonância com os dados expostos por RH Magazine (2024), que afirmam que 71% das empresas portuguesas enfrentam dificuldades em contratar recursos humanos com competências digitais adequadas, os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a escassez de profissionais qualificados constitui uma das principais barreiras à adoção eficaz de tecnologias emergentes, como a IA e a IoT. Esta limitação foi transversalmente mencionada pelos entrevistados, sobretudo no que respeita à capacidade de desenvolver soluções personalizadas e à gestão da mudança interna, dificultando a consolidação de estratégias baseadas em AIoT.

Por outro lado, e contrariamente aos dados estatísticos divulgados pelo Eurostat (2024), que indicam que apenas 9,3% das empresas a operar em Portugal com mais de 10 colaboradores utilizavam tecnologias de IA, os resultados empíricos deste estudo demonstraram que a totalidade das empresas abordadas já possuem abordagens concretas no domínio da IA, ainda que com níveis distintos de adoção. Esta discrepância pode ser justificada, por um lado, pela dinâmica mais acelerada de adoção tecnológica nas grandes empresas e, por outro, pela natureza da amostra considerada nesta investigação, composta exclusivamente por organizações de grande dimensão, com maior capacidade de investimento e maior maturidade digital do que a média nacional.

Todos estes fatores reforçam a análise de Kuguoglu et al. (2021), que salientam que a implementação de AIoT exige mais do que tecnologia. Segundo Kuguoglu et al. (2021), esta abordagem requer uma mudança cultural, a requalificação das equipas e uma reformulação organizacional.

Em síntese, embora a adoção da AIoT em Portugal ainda enfrente desafios estruturais, os dados evidenciam uma evolução clara nas grandes empresas, que já reconhecem o seu potencial transformador. A realidade empresarial nacional,

embora assimétrica, revela sinais promissores de alinhamento com as tendências internacionais, reforçando a ideia de que a AIoT poderá assumir um papel central na modernização e sustentabilidade das cadeias de abastecimento portuguesas nos próximos anos.

6. Conclusão

Este trabalho teve como principal objetivo analisar o contributo das tecnologias emergentes, com particular foco na integração entre IA e IoT, para a promoção da resiliência e sustentabilidade das cadeias de abastecimento no contexto português. Nesse sentido, o presente capítulo tem como propósito apresentar as principais conclusões do estudo, bem como identificar as suas limitações e apontar perspetivas para futuras investigações neste domínio.

6.1 Principais Conclusões

A análise combinada da literatura e dos dados recolhidos junto de quatro empresas multinacionais a operar em Portugal, permitiu concluir que a integração de AIoT representa um elemento potenciador da modernização das cadeias de abastecimento, ao fortalecer a sua resiliência e promover práticas sustentáveis.

Em termos práticos, este estudo evidenciou que as organizações portuguesas, especialmente de grande dimensão, estão progressivamente a adotar soluções baseadas em AIoT, embora com diferentes níveis de maturidade. Verificou-se a existência de ganhos concretos ao nível da manutenção preditiva, da eficiência energética, do controlo logístico e da sustentabilidade operacional. Contudo, persistem desafios estruturais que limitam a escalabilidade destas tecnologias, nomeadamente os custos de implementação, a falta de competências internas e a resistência cultural à mudança.

Neste sentido, são apontadas algumas recomendações estratégicas para as empresas:

- Investir na capacitação interna, promovendo programas de formação em competências digitais, análise de dados e manutenção de sistemas inteligentes.
- Adotar uma abordagem faseada na integração tecnológica, com projetos piloto que permitam validar o retorno antes da escalabilidade.
- Fomentar parcerias com startups, centros de investigação e fornecedores tecnológicos, acelerando o acesso a soluções inovadoras e adaptadas ao contexto nacional.
- Integrar a tecnologia na estratégia de sustentabilidade, reconhecendo a AIoT como uma ferramenta para cumprir metas ambientais, otimizar recursos e reforçar a transparência na cadeia de valor.

Do ponto de vista teórico, confirmou-se a validade dos modelos que associam a resiliência organizacional à capacidade preditiva, adaptativa e de aprendizagem contínua, e da sustentabilidade enquanto equilíbrio entre as dimensões ambiental, económica e social. A literatura mais recente defende que a AIoT atua como um catalisador destas capacidades, ao permitir maior visibilidade sobre os fluxos operacionais, análise em tempo real e tomada de decisão baseada em dados. Os resultados empíricos sustentam essas premissas, revelando que a tecnologia tem desempenhado um papel efetivo na antecipação de falhas, na otimização de recursos e na redução de impactos ambientais.

6.2 Limitações e Futuras Investigações

Apesar da estratégia delineada e do rigor metodológico, esta investigação apresenta algumas limitações. Apesar de pertencerem a setores distintos, o número reduzido de empresas analisadas pode não ser suficiente para generalizar os resultados para o setor empresarial português. Outra barreira a considerar é a dependência de dados qualitativos, uma vez que a análise se baseará nas percepções dos entrevistados, introduzindo um cariz subjetivo às informações recolhidas. Além disso, algumas empresas podem impor restrições na partilha de conhecimentos (Yin, 2018).

Por fim, no que respeita a perspectivas para investigação futura, recomenda-se o alargamento do estudo a empresas de menor dimensão e a setores com menor maturidade digital, de forma a obter uma visão mais abrangente sobre o panorama nacional. Seria igualmente relevante explorar metodologias quantitativas que permitam medir o impacto da AIoT em indicadores de desempenho organizacional, como custos, lead times e pegada carbónica. Outra linha promissora poderá passar pela análise do papel da liderança e da cultura organizacional na adoção tecnológica e pela construção de modelos preditivos que integrem variáveis contextuais e setoriais.

Conclui-se, assim, que a integração de tecnologias emergentes, em particular a AIoT, constitui um fator estratégico na transformação das cadeias de abastecimento em Portugal, com potencial para fortalecer a resiliência, promover a sustentabilidade e aumentar a competitividade das organizações num cenário cada vez mais incerto e exigente.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de redação

Durante a elaboração do meu trabalho escrito/dissertação, *Resiliência e Sustentabilidade nas Cadeias de Abastecimento: O Papel Disruptivo da Tecnologia*, foi utilizado ChatGPT para as tarefas de resumo de entrevistas demasiado extensas, apoio na aprendizagem de conceitos e tradução do resumo para inglês, tendo sido utilizadas as prompts listadas no final do documento na secção Lista de Prompts. Após a utilização desta ferramenta/serviço, revi e editei o conteúdo conforme necessário e assumo total responsabilidade pelo conteúdo do trabalho apresentado.

Declaro ainda conhecer e respeitar o Código de Conduta de Inteligência Artificial da Católica Porto Business School.

Lista de Prompts

“Resume, de forma objetiva, as respostas a cada uma das perguntas desta entrevista”

“O que é Inteligência Artificial das Coisas (AIoT) e como integra IA e IoT nas cadeias de abastecimento”

“Explique o conceito de manutenção preditiva e como a IA e IoT podem ser utilizadas para implementá-la nas cadeias de abastecimento”

“Traduz de português para inglês, sem alterar o sentido do que escrevi”

Bibliografia

- Akman, V., & Blackburn, P. (2000). Editorial: Alan Turing and Artificial Intelligence. In *Source: Journal of Logic* (Vol. 9, Issue 4).
- Al-Okaily, M., Younis, H., & Al-Okaily, A. (2024). The impact of management practices and industry 4.0 technologies on supply chain sustainability: A systematic review. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 17). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36421>
- Ashiq, M. (2024). Industry 5.0 – the human centric solution and personalization: challenges and opportunities for libraries. In *Library Hi Tech News*. Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/LHTN-10-2024-0176>
- Barbier, E. B. (1987). The Concept of Sustainable Economic Development. *Environmental Conservation*, 14(2), 101–110. <https://doi.org/10.1017/S0376892900011449>
- Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2019). Internet of things and supply chain management: a literature review. In *International Journal of Production Research* (Vol. 57, Issues 15–16, pp. 4719–4742). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140>
- Bispo Júnior, J. P. (2022). Social desirability bias in qualitative health research. *Revista de Saude Publica*, 56, 101. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056004164>
- Bryman, Alan. (2016). *Social research methods*. Oxford University Press.
- Carvalho, L., & Lima, M. J. (2024). *Redes Colaborativas e Cadeia de Abastecimento: Uma Análise Regional Aplicada ao Ssector Vitinicola Collaborative network and Supply Chain: A Regional Approach Applied to Wine Sector*.
- Chen, L., Li, Q., Nasif, K. F. A., Xie, Y., Deng, B., Niu, S., Pouriyeh, S., Dai, Z., Chen, J., & Xie, C. Y. (2024). AI-Driven Deep Learning Techniques in Protein

- Structure Prediction. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 25, Issue 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms25158426>
- Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson Education.
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). BUILDING THE RESILIENT SUPPLY CHAIN. In *International Journal of Logistics Management* (Vol. 15, Issue 2).
- Clift, R. (2003). Metrics for supply chain sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 5(3–4), 240–247. <https://doi.org/10.1007/s10098-003-0220-0>
- Comissão Europeia. (2003). *Recomendação 2003/361/CE da Comissão Europeia, de 6 de maio de 2003, relativa à definição de micro, pequenas e médias empresas.*
- Crowe Portugal. (2024). *A Inteligência Artificial na luta contra as Alterações Climáticas.*
- da Silva, J. C., & Vale, M. (2023). SUPPLY CHAINS RESILIENCE, POSSIBLE TRAJECTORIES OF INTERNATIONAL PRODUCTION AND THE EUROPEAN UNION'S RESPONSE IN THE CONTEXT OF THE COVID-19 PANDEMIC. *Finisterra*, 58(124), 169–179. <https://doi.org/10.18055/Finis33422>
- D'Eusanio, M., Zamagni, A., & Petti, L. (2019). Social sustainability and supply chain management: Methods and tools. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 235, pp. 178–189). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.323>
- Dhabi, A., & El-Hage, C. (2003). *Booz Allen Hamilton Worldwide Offices.* www.strategy-business.com
- Dias, F. S., & Laurretta, G. A. (2024). *The Transformative Impact of AI and Deep Learning in Business: A Literature Review.*
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532–550.

- Eurostat. (2024). *Use of Artificial Intelligence in Enterprises*. European Commission - Eurostat.
- Fernandes, A. B., Ernandes, I., Martins, P. W. A., Chagas, J. da C., Batista, M. da C., Espendor, A., Loures, D. A. M., & Oliveira, R. M. de. (2024). TECNOLOGIAS EMERGENTES E SUSTENTABILIDADE: TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS FUTURAS. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, 13(1), e722. <https://doi.org/10.23900/2359-1552v13n1-8-2024>
- Garcia, D. J., & You, F. (2015). *Supply Chain Design and Optimization: Challenges and Opportunities*.
- Gkagkas, G., Vergados, D. J., Michalas, A., & Dossis, M. (2024). The Advantage of the 5G Network for Enhancing the Internet of Things and the Evolution of the 6G Network. In *Sensors* (Vol. 24, Issue 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24082455>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2024). *Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions*. www.buyya.com.
- Gurtu, A., & Johnny, J. (2021). Supply chain risk management: Literature review. In *Risks* (Vol. 9, Issue 1, pp. 1–16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/risks9010016>
- IAPMEI. (2022). *Programa Indústria 4.0*. IAPMEI – Agência Para a Competitividade e Inovação.
- Ibarra-Esquer, J. E., González-Navarro, F. F., Flores-Rios, B. L., Burtseva, L., & Astorga-Vargas, M. A. (2017). Tracking the evolution of the internet of things concept across different application domains. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 17, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s17061379>
- Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 319(1), 1411–1431. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03640-6>

- Kaur, G., & Kander, R. (2023). The Sustainability of Industrial Hemp: A Literature Review of Its Economic, Environmental, and Social Sustainability. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su15086457>
- Kleindorfer, P. R., & Saad, G. H. (2005). *Managing Disruption Risks in Supply Chains*.
- Kuguoglu, B. K., van der Voort, H., & Janssen, M. (2021). The giant leap for smart cities: Scaling up smart city artificial intelligence of things (aiot) initiatives. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132112295>
- Kumar, S., & Singh, V. (2025). Strategic navigation of supply chain ambidexterity for resilience and agility in the digital era: A review. In *International Journal of Production Economics* (Vol. 281). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109514>
- Lara, C. L., & Wassick, J. (2023). *FUTURE OF SUPPLY CHAIN: CHALLENGES, TRENDS, AND PROSPECTS*.
- Leal Filho, W., Viera Trevisan, L., Paulino Pires Eustachio, J. H., Dibbern, T., Castillo Apraiz, J., Rampasso, I., Anholon, R., Gornati, B., Morello, M., & Lambrechts, W. (2023). Sustainable supply chain management and the UN sustainable development goals: exploring synergies towards sustainable development. *TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2023-0114>
- Lincoln, Y. S. & G. E. G. (2000). Paradigmatic controversies, contradictions, and emerging confluences. In N. K. & L. Y. S. Denzin (Ed.), *Handbook of Qualitative Research* (2nd ed., pp. 163–188). SAGE Publications.
- Maria Freire Fernandes Mestrado em, J., Rita Espanha, D., Associada, P., de Sociologia Políticas Públicas Orientador, E., Fernando Batista, D., & Associado, P. (2024). *Otimização das Práticas de Saúde: Integração de Big Data e Inteligência Artificial no Diagnóstico Médico*.

- Martín-Rojas, R., Garde Sánchez, R., de Moura, D., & Amelia Tomei, P. (2021). © *FECAP RBGN Revista Brasileira de Gestão de Negócios Gestão Estratégica de Resiliência Organizacional (GERO) Proposição de framework*. 3, 1–21. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v23i3.4118>
- Matin, A., Islam, M. R., Wang, X., Huo, H., & Xu, G. (2023). AIoT for sustainable manufacturing: Overview, challenges, and opportunities. In *Internet of Things (Netherlands)* (Vol. 24). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100901>
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*.
- Mentzer, J. T., Dewitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). DEFINING SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. In *JOURNAL OF BUSINESS LOGISTICS* (Vol. 22, Issue 2).
- Morchid, A., El Alami, R., Raezah, A. A., & Sabbar, Y. (2024). Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(3). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102509>
- Mukhamedjanova, K. A. (2020). Concept of supply chain management. *Journal of Critical Reviews*, 7(2), 759–766. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.02.139>
- Nikishina, L. B. (2023). Industry 4.0: history of emergence, development, prospects of transformation into Industry 5.0. *E3S Web of Conferences*, 458. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345806023>
- Oliveira, S. de, Guimarães, O. M., & Ferreira, J. de L. (2023). As entrevistas semiestruturadas na pesquisa qualitativa em educação. *Revista Linhas*, 24(55), 210–236. <https://doi.org/10.5965/1984723824552023210>
- Orb, A. ; E. L. ; W. D. (2001). Ethics in Qualitative Research. *Journal of Nursing Scholarship*, 33(1), 93–96.
- Porter, M. E. (2000). *What Is Strategy?* www.hbr.org

- Pournader, M., Ghaderi, H., Hassanzadegan, A., & Fahimnia, B. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain management. In *International Journal of Production Economics* (Vol. 241). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108250>
- Qin, Z., & Lu, Y. (2021). Self-organizing manufacturing network: A paradigm towards smart manufacturing in mass personalization. In *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 60, pp. 35–47). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.04.016>
- RH Magazine. (2024, February 2). *71% das empresas enfrentam dificuldades em contratar RH com boas competências digitais*. RH Magazine.
- Ruiz-Martin, C., Lopez-Paredes, A., & Wainer, G. (2018). What we know and do not know about organizational resilience. *International Journal of Production Management and Engineering*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2018.7898>
- Santos, K. da S., Ribeiro, M. C., de Queiroga, D. E. U., da Silva, I. A. P., & Ferreira, S. M. S. (2020). The use of multiple triangulations as a validation strategy in a qualitative study. *Ciencia e Saude Coletiva*, 25(2), 655–664. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020252.12302018>
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>
- Sheffi, Y. & R. J. B. Jr. (2005). A supply chain view of the resilient enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 41–48.
- Solow, R. M. (2021). *Sustainability: An Economist's Perspective*.
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2024). Virtual manufacturing in Industry 4.0: A review. In *Data Science and Management* (Vol. 7, Issue 1, pp. 47–63). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.dsm.2023.10.006>

- Soori, M., Jough, F. K. G., Dastres, R., & Arezoo, B. (2024). AI-Based Decision Support Systems in Industry 4.0, A Review. *Journal of Economy and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.08.005>
- Sudusinghe, J. I., & Seuring, S. (2020). Social sustainability empowering the economic sustainability in the global apparel supply chain. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12072595>
- Tan, W. C., & Sidhu, M. S. (2022). Review of RFID and IoT integration in supply chain management. *Operations Research Perspectives*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229>
- Thomsen, C. G. (2024). Sustentabilidade nas cadeias de abastecimento: trabalhando com fornecedores. *CincoDias*.
- Wagner, M. (2012). *Entrepreneurship, Innovation and Sustainability* (Routledge).
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. In *Quarterly* (Vol. 26, Issue 2).
- Wieland, A., & Durach, C. F. (2021). Two perspectives on supply chain resilience. *Journal of Business Logistics*, 42(3), 315–322. <https://doi.org/10.1111/jbl.12271>
- Yadav, A., Garg, R. K., & Sachdeva, A. (2024). Artificial intelligence applications for information management in sustainable supply chain management: A systematic review and future research agenda. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(2). <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2024.100292>
- Yang, J., Wu, X., Dong, L., Xu, N., Zou, Q., & Cong, J. (2023). Title: A novel product design method based on text-generated 3D model technology for mass personalization. <https://ssrn.com/abstract=5115494>
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* (Sage Publications, Ed.; 3^o).
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). SAGE Publications.

- Youssif, J., Junior, S., Luiz, H., & Crummer, C. (2008). *ARTIGOS • CADEIA DE ABASTECIMENTO: GESTÃO DO ESTOQUE PELO DISTRIBUIDOR 48 • ©RAE • VOL. 48 • Nº1 CADEIA DE ABASTECIMENTO: GESTÃO DO ESTOQUE PELO DISTRIBUIDOR RESUMO.*
- Zafar, M. H., Langås, E. F., & Sanfilippo, F. (2024). Exploring the synergies between collaborative robotics, digital twins, augmentation, and industry 5.0 for smart manufacturing: A state-of-the-art review. In *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* (Vol. 89). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102769>
- Zainuddin, A. A., Zakirudin, M. A. Z., Syafiq Zulkefli, A. S., Mazli, A. M., Mohd Wardi, M. A. S., Fazail, M. N., Mohd Razali, M. I. Z., & Yusof, M. H. (2024). Artificial Intelligence: A New Paradigm for Distributed Sensor Networks on the Internet of Things: A Review. *International Journal on Perceptive and Cognitive Computing*, 10(1), 16–28. <https://doi.org/10.31436/ijpcc.v10i1.414>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>