



VANESSA ALEXANDRA
PEREIRA SOARES

O Impacto das Tecnologias *Wearables*
na Monitorização e Prevenção em
Segurança e Saúde no Trabalho

Relatório de Dissertação de investigação do
Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho

JÚRI

Presidente: Professora Adjunta Olga Maria Figueiredo
Costa

Orientador: Professor Adjunto Convidado David Samuel
Fernandes Tavares Mendes

Co-orientadora: Professora Mestre Elena Terradillos

Vogal: Professor Adjunto (Aposentado) Nuno António
Neves Nunes

Novembro de 2025

Agradecimentos

A realização desta dissertação representa não só o culminar de um percurso académico, mas também um processo pessoal de crescimento e superação, que não teria sido possível sem o apoio de várias pessoas, às quais deixo o meu profundo agradecimento.

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus orientadores, o Professor Doutor David Mendes e a Professora Mestre Elena Terradillos, pelo acompanhamento atento, pelas orientações rigorosas e pela disponibilidade constante ao longo de todo o trabalho. O seu contributo foi essencial para a estruturação e aprofundamento desta investigação.

Aos docentes do curso, pelo conhecimento partilhado e pelo estímulo ao pensamento crítico. Aos meus colegas de turma, com quem partilhei desafios e conquistas, e em especial ao meu grupo de trabalho académico “W4.20”, agradeço pela entreaajuda, pela partilha e pela motivação constante.

À minha família, pelo incentivo e amor incondicional, especialmente ao meu marido Rui e aos meus filhos Elena e Enrique, cuja presença, paciência e compreensão foram fundamentais para a concretização deste projeto.

A todos, o meu sincero agradecimento.

Resumo

Num contexto de crescente digitalização dos ambientes laborais, as tecnologias *wearables* têm vindo a afirmar-se como ferramentas inovadoras e promissoras na promoção da Segurança e Saúde no Trabalho (SST). A sua capacidade de recolher e analisar dados fisiológicos, ergonómicos e ambientais em tempo real permite antecipar situações de risco, gerar alertas imediatos e apoiar decisões preventivas em setores de elevado risco, como a indústria, a construção civil ou a saúde.

O presente estudo teve como objetivo analisar o impacto da utilização destes dispositivos na prevenção de acidentes de trabalho e doenças profissionais, na monitorização da saúde dos trabalhadores e na melhoria do desempenho laboral. Para tal, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), conduzida de acordo com o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). A pesquisa bibliográfica incidiu sobre três bases de dados internacionais de referência (*Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*), tendo sido incluídos 32 artigos científicos publicados entre 2011 e 2025, selecionados com base em critérios de elegibilidade previamente definidos.

Os resultados obtidos organizam-se em torno de quatro eixos principais: prevenção de acidentes e doenças profissionais, desafios e limitações na implementação, métricas e indicadores de avaliação da eficácia e impacto no desempenho operacional e organizacional. Verificou-se que os dispositivos *wearables* contribuem para a redução de posturas de risco, a deteção de fadiga e *stress* e a melhoria da resposta a situações críticas, promovendo ambientes de trabalho mais seguros e produtivos. Contudo, a sua adoção continua condicionada por fatores como a aceitação por parte dos trabalhadores, a robustez técnica, os custos de implementação, a proteção de dados pessoais e a integração com os sistemas organizacionais.

Conclui-se que o sucesso da aplicação destas tecnologias exige uma abordagem ética, participativa e adaptada ao contexto de cada organização, capaz de conciliar inovação tecnológica com proteção dos trabalhadores e sustentabilidade organizacional.

Palavras-chave: Tecnologias *wearables*; Segurança e Saúde no Trabalho; Monitorização; Prevenção; Desempenho.

Abstract

In the context of the increasing digitalization of work environments, wearable technologies have emerged as innovative and promising tools for promoting occupational safety and health (OSH). Their ability to collect and analyze physiological, ergonomic, and environmental data in real time enables the anticipation of risks, the generation of immediate alerts, and the support of preventive decision-making in high-risk sectors such as industry, construction, or healthcare.

This study aimed to analyze the impact of wearable devices on the prevention of occupational accidents and diseases, the monitoring of workers' health, and the improvement of work performance. To this end, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted, following the *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) protocol. The bibliographic research was carried out in three major international databases (Scopus, Web of Science, and ScienceDirect), and 32 scientific articles published between 2011 and 2025 were included, based on predefined eligibility criteria.

The findings are structured around four main axes: prevention of accidents and occupational diseases, challenges and limitations of implementation, metrics and indicators used to evaluate effectiveness, and impact on workers' performance and organizational efficiency. The analysis revealed that wearable devices contribute to reducing risky postures, detecting fatigue and stress, and improving responses to critical situations, thereby promoting safer and more productive work environments. However, their adoption is still constrained by factors such as worker acceptance, technical robustness, implementation costs, personal data protection, and integration with organizational systems.

It is concluded that the successful adoption of wearable technologies requires an ethical, participatory, and context-sensitive approach, capable of balancing technological innovation with worker protection and organizational sustainability.

Keywords: Wearable technologies; Occupational safety and health; Monitoring; Prevention; Performance.

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de figuras	vii
Índice de gráficos.....	viii
Índice de tabelas.....	ix
Lista de Siglas e Acrónimos	x
Glossário de termos.....	xii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e objetivos	1
1.2. Abordagem metodológica.....	3
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
2. Fundamentos teóricos	5
2.1. Segurança e Saúde no Trabalho	5
2.2. Tecnologias <i>wearables</i> : conceito, evolução e tipologia	6
2.3. Integração das tecnologias <i>wearables</i> na SST	10
2.4. Utilização de tecnologias <i>wearables</i> em Portugal.....	11
2.5. Benefícios, desafios e limitações das tecnologias <i>wearables</i>	15
3. Metodologia Proposta	17
3.1. Tipos de revisão de literatura.....	17
3.2. Procedimento metodológico adotado na RSL.....	20
4. Aplicação da RSL	22
4.1. Conceptualização	22
4.2. Estudo da Literatura Existente.....	23
4.3. Análise da pesquisa	25
4.4. Avaliação da pesquisa.....	27
4.5. Sumarização da RSL.....	34
5. Discussão dos Resultados.....	35
5.1. QI1 – Prevenção de Acidentes e Doenças Profissionais	35
5.2. QI2 – Desafios e Limitações na Implementação.....	38
5.3. QI3 – Métricas e indicadores de eficácia	41
5.4. QI4 – Impacto no desempenho dos trabalhadores e na eficiência operacional	43
5.5. Relação entre as QI.....	49
6. Considerações Finais	50

6.1.	Conclusões	50
6.2.	Limitações do Estudo	52
6.3.	Proposta de Trabalhos Futuros	53
	Bibliografia.....	55
	Apêndices.....	64

Índice de figuras

Figura 1 - Fases da RSL.....	20
Figura 2 - Fluxograma PRISMA.....	25
Figura 3 - Nuvem de palavras.....	33

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Distribuição das publicações por ano	29
Gráfico 2 - Distribuição geográfica da investigação	30

Índice de tabelas

Tabela 1 - Tipologia de dispositivos wearables com aplicação potencial em SST	9
Tabela 2 - Iniciativas com aplicação de tecnologias wearables em SST em Portugal	14
Tabela 3 - Revistas científicas que publicaram os artigos incluídos na RSL.....	31
Tabela 4 - Editoras	32
Tabela 5 - Exemplos adicionais de dispositivos wearables com aplicação em SST	46
Tabela 6 - Dispositivos wearables identificados na RSL.....	46
Tabela 7 - Artigos incluídos na RSL	65

Lista de Siglas e Acrónimos

ACF	<i>Activated Carbon Fiber</i> (Fibra de carvão ativado)
BOZPis 1.0	Base de Observação-Zero; Prevenção e Informação de Segurança (modelo polaco)
BST	<i>Behavioral Skills Training</i> (Treino Comportamental de Competências)
CEM	<i>Coarsened Exact Matching</i> (Correspondência Exata Agrupada)
CO ₂	Dióxido de Carbono
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i> (Doença provocada pelo vírus <i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i> (SARS-CoV-2))
DEO	<i>Digital Enhanced Operator</i> (Operador Digitalmente Potenciado)
DGS	Direção-Geral da Saúde
DME	Distúrbios Músculo-Esqueléticos
ECG	Eletrocardiograma
EDP	Energias de Portugal
EMG	Eletromiografia
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EU-OSHA	<i>European Agency for Safety and Health at Work</i> (Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho)
FEDER	Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
HAVS	<i>Hand-Arm Vibration Syndrome</i> (Síndrome de Vibração Mão-Braço)
HMD	<i>Head Mounted Display</i> (Visor montado na cabeça)
HRV	<i>Heart Rate Variability</i> (Variabilidade da Frequência Cardíaca)
IA	Inteligência Artificial
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ILO	<i>International Labour Organization</i> (Organização Internacional do Trabalho)
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i> (Unidade de Medição Inercial)
INESC TEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
OHSM	<i>Occupational Health and Safety Management</i> (Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional)
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i> (Administração de Segurança e Saúde Ocupacional)

PDA	<i>Personal Digital Assistant</i> (Assistente Digital Pessoal)
PLS-SEM	<i>Partial Least Squares Structural Equation Modelling</i> (Modelação por equações estruturais com mínimos quadrados parciais)
POCI	Programa Operacional Competitividade e Internacionalização
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i> (Itens Preferências para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises)
PRISMA - ScR	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews</i> (Extensão do PRISMA para revisões de escopo)
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i> (Método de Organização de Classificação de Preferências para Avaliações de Enriquecimento)
QI	Questões de investigação
RA	Realidade Aumentada
RAG	<i>Resilience Analysis Grid</i> (Grelha de Análise da Resiliência)
RE	Realidade Estendida
REBA	<i>Rapid Entire Body Assessment</i> (Avaliação Rápida de Todo o Corpo)
RERA	<i>Rapid Ergonomic Risk Assessment</i> (Avaliação Rápida de Risco Ergonómico)
RGPD	Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados
RIL	Revisão Integrativa da Literatura
RNL	Revisão Narrativa da Literatura
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i> (Avaliação Rápida dos Membros Superiores)
RV	Realidade Virtual
SCISSOR	<i>Smart Cross-Reality Safety Training for Operating Rooms</i> (Projeto europeu sobre treino em realidade cruzada)
SST	Segurança e Saúde no Trabalho
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i> (Modelo de Aceitação Tecnológica)
TAU	<i>Treatment As Usual</i> (Tratamento Tradicional/ Convencional)
TWH	<i>Total Worker Health</i> (Saúde Total do Trabalhador)
WoS	<i>Web of Science</i>

Glossário de termos

Análise de dados – Processo de recolha, organização e interpretação de dados com o objetivo de extrair informações relevantes e apoiar a tomada de decisões informadas (Vishwakarma & Jain, 2022).

PRISMA – Conjunto de diretrizes utilizado em revisões sistemáticas para assegurar rigor, transparência e reprodutibilidade na seleção, avaliação e síntese dos estudos incluídos (Page *et al.*, 2021).

Atividade eletrodérmica – Variação da condutância elétrica da pele em resposta à atividade do sistema nervoso autónomo, usada como indicador de *stress*, excitação emocional ou fadiga. É monitorizada por dispositivos *wearables* através de sensores colocados no pulso ou nos dedos (Zangróniz *et al.*, 2017).

Avaliação ergonómica – Processo de análise das condições de trabalho, posturas e esforços físicos para identificar riscos biomecânicos e propor medidas de prevenção (Joshi *et al.*, 2019).

Behavioral Skills Training - Método estruturado de ensino de competências que combina instrução, modelagem, ensaio comportamental e *feedback*, utilizado para treinar trabalhadores em práticas seguras e eficazes (Lin *et al.*, 2022).

Biossensores – Dispositivos capazes de detetar e medir sinais biológicos (como temperatura corporal, batimentos cardíacos ou níveis de *stress*), frequentemente integrados em tecnologias *wearables* (Kim *et al.*, 2019).

Cloud (Computação em Nuvem) – Modelo de armazenamento e processamento de dados em servidores remotos acessíveis via internet, permitindo a sincronização, partilha e análise em tempo real dos dados recolhidos por dispositivos *wearables* (Mendes *et al.*, 2023).

COVID-19 – Doença infecciosa causada pelo vírus SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*), responsável pela pandemia declarada em 2020 (Kutnjak, 2021).

Cultura de segurança – Conjunto de valores, atitudes e percepções partilhadas pelos membros de uma organização sobre a importância da segurança no ambiente de trabalho (Cox *et al.*, 1998).

Drivers – Fatores impulsionadores ou determinantes que influenciam a adoção, implementação ou eficácia de determinadas práticas, tecnologias ou políticas em segurança e saúde no trabalho (de Melo, 2012).

Doença profissional – Patologia desenvolvida como resultado direto da atividade laboral ou da exposição a fatores de risco no ambiente de trabalho (Bao *et al.*, 2017).

Eletrocardiograma - Técnica de monitorização elétrica da atividade cardíaca, utilizada para avaliar o ritmo e a saúde do coração (Neri *et al.*, 2023).

Eletromiografia – Técnica de medição da atividade elétrica dos músculos, usada para analisar fadiga muscular, esforço físico e distúrbios neuromusculares (Lynn *et al.*, 2018).

Equipamento de Proteção Individual – Dispositivo ou acessório destinado à proteção do trabalhador contra riscos para a sua saúde ou segurança (Vukicevic *et al.*, 2024).

Exoesqueletos – Dispositivos *wearables* estruturais, externos ao corpo humano, concebidos para apoiar ou ampliar os movimentos do utilizador. Podem ser passivos (sem motores, usando molas ou estruturas mecânicas para redistribuir o esforço físico) ou ativos (com assistência motorizada). São aplicados em contextos laborais para reduzir a fadiga muscular, prevenir distúrbios músculo-esqueléticos e melhorar a ergonomia em tarefas repetitivas ou exigentes (Patel *et al.*, 2022).

Fadiga ocupacional – Estado de exaustão física e/ou mental resultante de esforço prolongado no trabalho, com impacto na segurança e produtividade (Moshawrab *et al.*, 2022).

Head Mounted Displays – Dispositivos *wearables* de visualização usados na cabeça, que projetam informação digital diretamente no campo de visão do utilizador. Podem integrar realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) ou realidade estendida (RE), permitindo fornecer instruções passo-a-passo, simular cenários de risco ou apoiar a execução de tarefas em tempo real (Baashar *et al.*, 2023).

Inteligência Artificial – Área da ciência computacional que desenvolve sistemas capazes de simular capacidades humanas como a aprendizagem, raciocínio, percepção e tomada de decisão (Gautam *et al.*, 2022).

Inertial Measurement Unit – Sensor que mede aceleração, rotação e orientação do corpo em movimento, utilizado em *wearables* para avaliar postura, movimento e fadiga (Baklouti *et al.*, 2024).

Internet of Things – Rede de objetos físicos interligados que recolhem e trocam dados via internet, incluindo dispositivos *wearables* aplicados à SST (Passos *et al.*, 2021).

Monitorização em tempo real – Técnica de recolha e análise contínua de dados à medida que os eventos ocorrem, permitindo resposta imediata a situações de risco (Guk *et al.*, 2019).

Nanossegurança - Conjunto de práticas, protocolos e medidas de prevenção destinadas a minimizar os riscos de exposição a nanomateriais no local de trabalho, garantindo a proteção da saúde dos trabalhadores e do ambiente (Levaschova & Morgacheva, 2020).

Nanotecnologia – Ramo da ciência que desenvolve materiais e dispositivos à escala nanométrica, sendo aplicada em sensores avançados usados em *wearables* (Syduzzaman *et al.*, 2023).

Occupational Health and Safety – Expressão em inglês para Segurança e Saúde no Trabalho (SST) (Morgado *et al.*, 2019).

Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations – Método de apoio à decisão multicritério utilizado para avaliar e comparar alternativas com base em múltiplos critérios (Uzun *et al.*, 2021).

Resilience Analysis Grid – Ferramenta qualitativa para avaliar a resiliência organizacional em quatro dimensões: resposta, monitorização, antecipação e aprendizagem (Falegnami *et al.*, 2025).

Realidade Estendida – Termo abrangente que integra RA, RV e realidade mista (RM), usado em contextos de simulação, formação e apoio à decisão (Morimoto *et al.*, 2022).

RULA/REBA – Métodos de avaliação rápida de risco ergonómico, focados respetivamente nos membros superiores (RULA) e no corpo inteiro (REBA) (Maksimović *et al.*, 2022; Baklouti *et al.*, 2024).

Simulation and Communication System for Ionizing Radiation Risk – Projeto europeu que desenvolve sistemas digitais de simulação e comunicação aplicados à formação em segurança, com foco na exposição à radiação ionizante. Utiliza tecnologias imersivas, como RA e RV, para aumentar a perceção do risco e a eficácia dos programas formativos (Monaco *et al.*, 2024).

Sensor inercial – Dispositivo que deteta movimento, aceleração e orientação corporal, geralmente composto por acelerómetros, giroscópios e magnetómetros (O'Reilly *et al.*, 2018).

Síndrome *Hand-Arm Vibration Syndrome* – Condição médica causada pela exposição prolongada à vibração transmitida para as mãos e braços, comum em operadores de ferramentas vibratórias (Uddin *et al.*, 2025).

Skillaugment – Empresa portuguesa de base tecnológica especializada no desenvolvimento de soluções de RA, RV e RE aplicadas à formação, à indústria e à segurança (Skillaugment, 2025).

Segurança e Saúde no Trabalho – Conjunto de práticas, políticas e tecnologias orientadas para proteger a saúde e a integridade física e mental dos trabalhadores (Morgado *et al.*, 2019).

Tecnologias *wearables* (ou dispositivos vestíveis) – Dispositivos eletrónicos incorporados em vestuário ou acessórios, capazes de monitorizar dados fisiológicos, comportamentais ou ambientais em tempo real (Svertoka *et al.*, 2020).

Toolbox Trainings – Pequenas formações presenciais e práticas, realizadas no local de trabalho, com foco em tópicos específicos de segurança ou saúde ocupacional. São geralmente breves e de fácil aplicação no dia-a-dia laboral (Maurtua *et al.*, 2007).

Telemetria – Técnica de medição e transmissão remota de dados, amplamente utilizada em *wearables* para enviar informações fisiológicas para plataformas digitais ou profissionais de saúde (Ribeiro *et al.*, 2021).

Total Worker Health – Estratégia integradora que promove a proteção da saúde e o bem-estar geral dos trabalhadores, combinando segurança ocupacional com saúde física e mental (Patel *et al.*, 2022).

Usabilidade – Grau em que um sistema, dispositivo ou tecnologia pode ser utilizado de forma eficaz, eficiente e satisfatória pelos utilizadores. No contexto dos dispositivos *wearables* em SST, refere-se à facilidade de uso, conforto, integração nas rotinas de trabalho e aceitação pelos trabalhadores (Carvalho *et al.*, 2022).

1. Introdução

O presente capítulo introduz o tema da investigação e enquadra o estudo. Apresenta também os objetivos do trabalho, a metodologia adotada e a estrutura geral da dissertação.

1.1. Enquadramento e objetivos

A promoção da Segurança e Saúde no Trabalho (SST) tem vindo a assumir um papel central nas políticas públicas e na gestão estratégica das organizações, sobretudo em setores de elevado risco como a indústria transformadora, construção civil, extração mineira e logística (ILO, 2020; ISO 45001, 2018; da Silva & Amaral, 2019; Salguero-Caparrós *et al.*, 2020; Kineber *et al.*, 2023). Estes contextos exigem abordagens preventivas eficazes, uma vez que os riscos ocupacionais continuam a representar ameaças significativas à integridade física e psicológica dos trabalhadores (OSHA, 2020; ISO 45001, 2018). De acordo com a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA, 2020, 2023), cerca de 60% dos trabalhadores da União Europeia com problemas de saúde relacionados com o trabalho referem distúrbios musculoesqueléticos (DME) como a sua principal queixa. Em setores como a construção, os DME podem representar 75% dos problemas de saúde referidos, e nas atividades de saúde e agricultura as prevalências são elevadas, variando por função e tarefa, mantendo-se a tendência nas sínteses mais recentes (EU-OSHA, 2023).

Com o avanço das tecnologias digitais, têm surgido soluções inovadoras com potencial para transformar os sistemas tradicionais de gestão da SST. As tecnologias *wearables* ou vestíveis são um exemplo dessa transformação. Estes dispositivos, integrados em acessórios ou vestuário, permitem a recolha contínua de dados fisiológicos, biomecânicos e ambientais, possibilitando a deteção precoce de riscos e a intervenção imediata em contexto laboral (Ispășoiu *et al.*, 2024).

A sua aplicabilidade tem sido especialmente reconhecida em ambientes industriais, onde sensores integrados em cintas lombares ou vestuário inteligente são utilizados para monitorizar posturas incorretas, sobrecargas físicas e padrões repetitivos de movimento. Estas funcionalidades contribuem para a identificação precoce de fatores de risco ergonómico e permitem gerar alertas automáticos, com impacto direto na prevenção de lesões musculoesqueléticas (Baklouti *et al.*, 2024). Maksimović *et al.* (2022) evidenciaram diminuições dos níveis de risco ergonómico com o uso de sensores de extensão vestíveis. Em paralelo, estudos setoriais indicam elevada prevalência de DME em contextos exigentes, como pedreiras, reforçando a necessidade de monitorização e prevenção contínuas (Shah & Mishra, 2024; Touray *et al.*, 2024). De

forma complementar, Ispășoiu *et al.* (2024) apresentam uma metodologia de avaliação rápida do risco, suportada por IA, que facilita a deteção precoce e a intervenção em tempo real, sem quantificar reduções percentuais específicas.

Para além destes benefícios operacionais imediatos, a adoção de tecnologias *wearables* pode também contribuir para a redução de acidentes de trabalho e gerar impactos positivos ao nível da produtividade, redução de custos associados ao absentismo e da melhoria das condições de trabalho (Majumder *et al.*, 2017; Khakurel *et al.*, 2017; Svertoka *et al.*, 2021).

Apesar dos avanços tecnológicos e do número crescente de publicações, a literatura sobre tecnologias *wearables* em contextos laborais de elevado risco mantém-se fragmentada e metodologicamente heterogénea. Muitos estudos incidem sobre contextos laboratoriais ou soluções prototípicas, o que dificulta a generalização dos resultados (Patel *et al.*, 2012; Tamura *et al.*, 2014). Além disso, observam-se variações substanciais nos indicadores utilizados para avaliar a eficácia dos dispositivos, bem como na forma como os benefícios são mensurados. Por exemplo, Shah *et al.* (2024) utilizaram a frequência cardíaca e os níveis de *stress* como indicadores de fadiga em contextos de armazéns logísticos, enquanto Baklouti *et al.* (2024) centraram a sua análise na deteção de posturas de risco e movimentos repetitivos através de sensores de movimento integrados no vestuário. Esta diversidade metodológica compromete a comparação direta entre os estudos e dificulta a integração sistemática dos resultados. Ainda que o número de publicações nesta área venha a crescer, verifica-se que a produção científica continua pouco consolidada em contextos laborais de risco. Uma análise bibliométrica centrada no setor da saúde identificou um aumento significativo do interesse científico nas tecnologias *wearables*, mas também revelou que a maioria dos estudos se concentra em contextos clínicos e de reabilitação, sendo menos frequente a sua aplicação em ambientes industriais e de elevado risco (Tırpan & Semiz, 2022). A nível europeu, estima-se que cerca de 5% das empresas utilizem atualmente estas tecnologias para fins de monitorização da saúde e segurança dos trabalhadores (EU-OSHA, 2023), o que evidencia uma baixa taxa de adoção face ao seu potencial.

Neste contexto, torna-se essencial compilar, organizar e avaliar criticamente os contributos existentes, através de uma revisão sistemática da literatura (RSL) que permita esclarecer o impacto destas tecnologias em ambientes profissionais e orientar a sua adoção de forma sustentada e eficaz.

Assim, o presente estudo tem como objetivo principal compreender de que forma as tecnologias *wearables* contribuem para a monitorização da SST em ambientes laborais de risco. Pretende-se analisar os principais benefícios e limitações associados à sua implementação, as métricas utilizadas para avaliar a sua eficácia e o seu impacto no

desempenho operacional dos trabalhadores. Para tal, foram formuladas as seguintes questões de investigação (QI):

- QI1 – De que forma as tecnologias *wearables* podem prevenir acidentes e doenças profissionais?
- QI2 – Quais os desafios e limitações na implementação de tecnologias *wearables*, em contexto de trabalho?
- QI3 – Quais são as métricas e indicadores mais utilizados para avaliar a eficácia das tecnologias *wearables* na monitorização da SST?
- QI4 – Quais são as vantagens e limitações das tecnologias *wearables* no desempenho operacional dos trabalhadores e na eficiência organizacional?

A resposta a estas questões permitirá aprofundar o conhecimento sobre o estado atual da investigação neste domínio e contribuir para a definição de boas práticas na adoção de tecnologias *wearables* em diferentes contextos profissionais.

1.2. Abordagem metodológica

Para atingir os objetivos definidos, recorreu-se à realização de uma RSL, com o intuito de reunir, organizar e analisar criticamente a produção científica sobre a aplicação de tecnologias *wearables* na promoção da SST. A metodologia seguiu o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), amplamente reconhecido pela sua capacidade de assegurar rigor, transparência e reprodutibilidade nas revisões científicas.

A pesquisa bibliográfica foi realizada em bases de dados internacionais de referência, *Scopus*, *Web of Science* (WoS) e *ScienceDirect*, utilizando palavras-chave previamente definidas que articulam os conceitos centrais da dissertação: tecnologias *wearables* e SST. Foram aplicados filtros para restringir os resultados a artigos científicos e de conferência, redigidos em português ou inglês, e disponíveis em acesso aberto.

Os critérios de elegibilidade, a estratégia de pesquisa, o processo de triagem dos estudos e os procedimentos de análise encontram-se descritos em detalhe no Capítulo 3 - Metodologia da Revisão Sistemática.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, articulados de forma a garantir uma abordagem progressiva e fundamentada sobre o impacto das tecnologias *wearables* na monitorização da SST.

O Capítulo 1 apresenta o enquadramento temático, os objetivos da investigação, a formulação das questões de investigação e a organização do documento.

O Capítulo 2 desenvolve os fundamentos teóricos, abordando o conceito, a evolução e as principais tipologias das tecnologias *wearables*, bem como a sua integração na gestão da SST, os benefícios associados e as limitações identificadas na literatura especializada.

O Capítulo 3 descreve a metodologia da RSL, realizada segundo o protocolo PRISMA, introduzindo os tipos de revisão e apresentando uma síntese das fases do processo. São detalhadas a estratégia de pesquisa, os critérios de inclusão e exclusão, as etapas de seleção dos estudos e os procedimentos de extração e organização dos dados.

O Capítulo 4 apresenta os resultados da RSL, desenvolvendo as fases do PRISMA, incluindo a análise qualitativa dos artigos validados, a análise quantitativa e bibliométrica e a síntese das tecnologias identificadas e, com base em variáveis como ano de publicação, países de origem, palavras-chave e fontes editoriais.

O Capítulo 5 corresponde à análise e discussão dos resultados, organizada em torno das quatro questões de investigação: o contributo das tecnologias *wearables* na prevenção de riscos (Q1), os desafios e limitações da sua implementação (Q2), as métricas e indicadores utilizados na avaliação da eficácia (Q3) e o impacto no desempenho dos trabalhadores e na eficiência operacional (Q4). Inclui ainda a sistematização dos principais tipos de dispositivos *wearables* identificados na literatura analisada.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais do estudo, reunindo as principais conclusões, as limitações metodológicas e propostas de linhas orientadoras para investigações futuras neste domínio.

2. Fundamentos teóricos

Este capítulo apresenta o enquadramento teórico da investigação, iniciando-se com os princípios da SST e a definição do conceito de tecnologias *wearables*. É explorada a evolução destas tecnologias, as suas principais tipologias e as formas como têm vindo a ser integradas na proteção dos trabalhadores. Descreve-se ainda a forma como têm sido utilizadas em Portugal, assim como os principais benefícios, desafios e limitações associados à sua utilização.

2.1. Segurança e Saúde no Trabalho

A SST constitui um dos pilares fundamentais da gestão organizacional, assumindo um papel estratégico na prevenção de acidentes de trabalho e doenças profissionais, bem como na promoção do bem-estar dos trabalhadores. Trata-se de uma área multidisciplinar que integra dimensões técnicas, humanas, organizacionais e legais, visando criar ambientes de trabalho seguros, saudáveis e produtivos (Khakurel *et al.*, 2018; Majumder *et al.*, 2017).

O conceito de SST ultrapassa a simples conformidade com normas legais, refletindo o compromisso das organizações com a proteção da vida, saúde e da integridade física e psicológica dos seus colaboradores. Este compromisso é especialmente relevante em setores de elevado risco, como a construção civil, indústria extrativa, logística ou os serviços de saúde, onde os trabalhadores enfrentam diariamente perigos significativos decorrentes das suas funções (EU-OSHA, 2020, 2023; *International Labour Organization (ILO)*, 2020).

Os riscos ocupacionais podem ser classificados em várias categorias, destacando-se os riscos físicos (como o ruído, radiações ionizantes e não ionizantes, vibrações e temperaturas extremas), químicos (exposição a agentes tóxicos ou cancerígenos), biológicos (microrganismos e agentes patogénicos), ergonómicos (posturas incorretas, esforços repetitivos, levantamento de cargas) e psicossociais (*stress*, *burnout*, assédio moral). Quando não são devidamente controlados, estes riscos podem originar lesões, doenças, absentismo prolongado, perda de produtividade e custos acrescidos para as organizações (EU-OSHA, 2023).

Khakurel *et al.* (2018), Majumder *et al.* (2017) e Rodrigues *et al.* (2020), sublinham a vulnerabilidade de profissionais expostos a riscos ocupacionais intensos. Por exemplo, em ambientes hospitalares, os trabalhadores que lidam com agentes químicos perigosos enfrentam impactos de natureza reprodutiva ou oncológica, enquanto em contextos industriais os riscos ergonómicos são frequentemente identificados como causas de DME. Estes problemas podem ser mitigados através da aplicação de

metodologias de avaliação rápida e da introdução de tecnologias digitais de monitorização em tempo real (Martins *et al.*, 2021).

A gestão eficaz da SST pressupõe uma abordagem preventiva, sistemática e integrada. Esta inclui a identificação e avaliação contínua dos riscos, a implementação de medidas de controlo técnico e organizacional, a promoção de comportamentos seguros, assim como a formação regular dos trabalhadores e a monitorização permanente das condições laborais. A Norma ISO 45001 e os referenciais da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) fornecem diretrizes estruturadas para a implementação de sistemas de gestão da SST baseados na melhoria contínua e na participação ativa dos colaboradores (da Silva & Amaral, 2019; Salguero-Caparrós *et al.*, 2020).

Em Portugal, a promoção da SST encontra-se regulamentada pelo Regime Jurídico da Promoção da SST (Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro). Esta legislação sublinha a importância da integração de práticas ergonómicas nos postos de trabalho, reconhecendo a necessidade de adaptação das condições laborais às características físicas e cognitivas dos trabalhadores. A ergonomia é, assim, considerada um fator essencial na prevenção de distúrbios músculo-esqueléticos (DME) e na promoção do bem-estar físico e mental, particularmente em contextos industriais e hospitalares (Rodrigues *et al.*, 2020).

A inovação tecnológica tem vindo a assumir um papel cada vez mais relevante na modernização das práticas de segurança. A utilização de tecnologias emergentes, como os dispositivos *wearables*, permite a monitorização em tempo real de variáveis fisiológicas, ambientais e comportamentais, facilitando a deteção precoce de situações de risco. Esta integração tecnológica reforça a capacidade preventiva das organizações e representa uma evolução significativa face aos modelos tradicionais de vigilância da saúde ocupacional (Khakurel *et al.*, 2018; Majumder *et al.*, 2017; Kineber *et al.*, 2023).

Assim, a SST deve ser entendida não apenas como uma obrigação legal, mas como um investimento estratégico que promove a sustentabilidade, motivação dos trabalhadores e a competitividade das organizações. Num cenário laboral cada vez mais exigente e dinâmico, a capacidade de antecipar, identificar e controlar os riscos assume-se como um diferencial de excelência e responsabilidade social (Salguero-Caparrós *et al.*, 2020; EU-OSHA, 2023).

2.2. Tecnologias *wearables*: conceito, evolução e tipologia

As tecnologias *wearables* referem-se a dispositivos eletrónicos concebidos para serem utilizados no corpo humano, integrando sensores que recolhem, processam e transmitem dados em tempo real. Estes dispositivos podem apresentar diferentes

formatos, como pulseiras, relógios, roupas inteligentes, anéis, óculos ou mesmo sensores integrados em acessórios pessoais. A sua principal característica é a portabilidade, associada à capacidade de monitorização contínua sem interferência nas atividades quotidianas do utilizador, o que lhes confere um elevado potencial de aplicação no domínio da SST (Mendes, 2023).

Atendendo à crescente aplicação das tecnologias *wearables* e aos desafios identificados na gestão da SST, torna-se cada vez mais relevante explorar o papel das tecnologias emergentes na prevenção de riscos ocupacionais (Martins *et al.*, 2021). Neste contexto, os dispositivos *wearables* assumem-se como ferramentas promissoras para a monitorização contínua do estado de saúde dos trabalhadores e das condições ambientais, contribuindo para uma atuação preventiva mais eficaz (Mendes, 2023). Em linha com este enquadramento, a sua aplicação em contexto laboral vai muito além da promoção do bem-estar genérico, oferecendo soluções específicas para mitigar riscos físicos, ergonómicos e psicossociais nos locais de trabalho (Khakurel *et al.*, 2018). Neste sentido, a análise da sua evolução e tipologias torna-se fundamental para compreender o alcance e a aplicabilidade destas soluções (Martins *et al.*, 2021).

Para clarificar o alcance do tema, apresenta-se uma análise aprofundada do conceito, evolução e tipologias destes dispositivos, com especial ênfase nas suas aplicações na SST. A evolução destas tecnologias acompanha o progresso da computação ubíqua e da miniaturização dos sensores, permitindo o desenvolvimento de soluções cada vez mais leves, precisas e energeticamente eficientes. Esta convergência tecnológica permitiu criar *wearables* e eletrónica integrada nos próprios equipamentos, capaz de recolher e processar dados em tempo real.

Inicialmente concebidos para fins desportivos e de bem-estar, estes dispositivos foram progressivamente adaptados a contextos clínicos, industriais e ocupacionais, assumindo um papel relevante na recolha de dados fisiológicos, comportamentais e ambientais (Khakurel *et al.*, 2018; Majumder *et al.*, 2017).

No âmbito específico da SST, esta adaptação transforma dados de saúde e bem-estar em ferramentas preventivas, permitindo, por exemplo, a deteção precoce de riscos ergonómicos ou ambientais em ambientes laborais de alto risco, como a construção ou a saúde (Martins *et al.*, 2021).

Do ponto de vista tipológico, os dispositivos *wearables* podem ser classificados consoante a sua posição no corpo e a função que desempenham. Os dispositivos de pulso, como *smartwatches* e pulseiras de *fitness*, são os mais comuns, sendo amplamente utilizados para monitorizar batimentos cardíacos, padrões de sono, contagem de passos, entre outros (Mendes, 2023). As roupas inteligentes integram sensores têxteis capazes de medir sinais vitais, postura ou esforço físico, sendo

utilizadas em contextos clínicos, desportivos e laborais. Outros exemplos incluem capacetes com sensores de impacto e localização (usados em ambientes industriais), óculos de realidade aumentada (RA) (com funções de apoio à decisão) ou anéis biométricos que monitorizam variáveis como temperatura e frequência cardíaca (Khakurel *et al.*, 2018).

Mendes (2023) salienta a existência dos chamados *ambient wearables* (*wearables* ambientais), que são dispositivos concebidos para captar dados do meio envolvente, como temperatura, humidade, ruído ou níveis de exposição a agentes tóxicos. Esta vertente tecnológica é especialmente útil em contextos de risco, como a construção civil, a indústria extrativa ou os serviços de emergência, pela sua capacidade de detetar fatores ambientais adversos em tempo real. Além disso, as tecnologias *wearables* têm vindo a destacar-se no apoio à deteção de fadiga, sendo progressivamente aplicadas para monitorizar estados fisiológicos que precedem acidentes, sobretudo em contextos laborais exigentes. Martins *et al.* (2021) sublinham a importância destas tecnologias na prevenção da fadiga, recorrendo a parâmetros como a variabilidade da frequência cardíaca, temperatura corporal, atividade eletrodérmica e padrões de sono. A combinação de sensores fisiológicos com algoritmos de análise permite estimar níveis de alerta em tempo real e emitir notificações antes que ocorram situações de risco, o que representa um avanço significativo na proteção da saúde dos trabalhadores.

Segundo Mendes (2023), a adoção de tecnologias *wearables* está também associada à crescente digitalização da sociedade e à valorização da saúde preventiva e personalizada. A integração destes dispositivos com aplicações móveis, serviços em *cloud* e plataformas de análise preditiva abre caminho a novos modelos de monitorização contínua e gestão personalizada da saúde, da performance e da segurança, tanto em ambientes clínicos como no local de trabalho.

A diversidade dos dispositivos *wearables* reflete a multiplicidade de contextos de aplicação e a sofisticação tecnológica atingida nas últimas décadas. A sua classificação pode ser feita com base em critérios como a posição no corpo, a funcionalidade ou o tipo de dados recolhidos (Mendes, 2023; Khakurel *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2021).

A tabela 1 apresenta uma sistematização das principais categorias identificadas na literatura especializada, com exemplos de dispositivos comerciais, respetiva descrição funcional e potenciais aplicações no domínio da SST. Esta síntese visa facilitar a compreensão das possibilidades oferecidas por cada tipo de *wearable*, fornecendo uma visão clara das soluções tecnológicas disponíveis e da sua utilidade em contextos laborais de risco.

A crescente diversidade de dispositivos *wearables* reflete não apenas o avanço tecnológico, mas também a multiplicidade de necessidades nos diferentes contextos

onde são aplicados. Desde sensores incorporados em têxteis inteligentes até equipamentos mais robustos para uso industrial, estas tecnologias apresentam-se como ferramentas versáteis com elevado potencial de transformação dos modelos tradicionais de monitorização e prevenção (Khakurel *et al.*, 2018; Mendes, 2023). A integração com sistemas de análise de dados, computação em nuvem (*cloud*) e inteligência artificial (IA) tem vindo a impulsionar novas possibilidades no campo da saúde, segurança e bem-estar (Martins *et al.*, 2021).

Tabela 1 - Tipologia de dispositivos wearables com aplicação potencial em SST

Nº	Autores	CrITÉRIOS	Descrição
1	Barata & da Cunha (2019)	Categoria/Tipo	Capacetes inteligentes e sensores de cabeça.
		Descrição	Capacetes com sensores de impacto, localização ou RA.
		Exemplos comerciais	DAQRI <i>Smart Helmet</i> ; <i>Guardhat</i> ; <i>RealWear</i> .
		Aplicações na SST	Deteção de quedas/colisões; geolocalização; apoio à decisão com RA.
2	Barata & da Cunha (2019)	Categoria/Tipo	Óculos inteligentes/RA.
		Descrição	Óculos com interfaces digitais e sensores que fornecem informação ao utilizador.
		Exemplos comerciais	<i>Google Glass Enterprise</i> ; <i>Vuzix Blade</i> ; <i>Microsoft HoloLens</i> .
		Aplicações na SST	Instruções visuais; deteção de obstáculos; apoio remoto.
3	Khakurel <i>et al.</i> (2018)	Categoria/Tipo	Dispositivos de pulso.
		Descrição	Pulseiras e relógios inteligentes com sensores biométricos.
		Exemplos comerciais	<i>Fitbit Charge</i> ; <i>Apple Watch</i> ; <i>Garmin Forerunner</i> .
		Aplicações na SST	Monitorização da frequência cardíaca; fadiga; passos; sono; alertas fisiológicos.
4	Khakurel <i>et al.</i> (2018)	Categoria/Tipo	Anéis biométricos e sensores de contacto.
		Descrição	Dispositivos discretos usados em contacto com a pele, como anéis ou adesivos.
		Exemplos comerciais	<i>Oura Ring</i> ; <i>Biostrap</i> .
		Aplicações na SST	Monitorização contínua de temperatura, frequência cardíaca, <i>stress</i> e fadiga.
5	Martins <i>et al.</i> (2021)	Categoria/Tipo	<i>Ambient wearables</i> (sensores ambientais portáteis)
		Descrição	Dispositivos pessoais que captam variáveis ambientais (temperatura e humidade).
		Exemplos comerciais	Patches de temperatura; termohigrómetros pessoais; sensores ambientais portáteis.
		Aplicações na SST	Monitorização de temperatura; humidade; <i>stress</i> térmico/fadiga térmica; decisões de pausa e hidratação.
6		Categoria/Tipo	Roupas inteligentes (vestuário sensorizado)

	Martins <i>et al.</i> (2021)	Descrição	T-shirts, coletes ou calçado com sensores integrados nos tecidos.
		Exemplos comerciais	<i>Hexoskin; Smart Shirt; Nadi X.</i>
		Aplicações na SST	Monitorização da postura, esforço físico, temperatura; movimento repetitivo; prevenção de DME.

2.3. Integração das tecnologias *wearables* na SST

Em contexto laboral, as tecnologias *wearables* têm vindo a assumir um papel estratégico na promoção da SST, permitindo uma vigilância ativa e contínua do estado físico dos trabalhadores e das condições do ambiente de trabalho. Estes dispositivos possibilitam acompanhar em tempo real indicadores fisiológicos, ergonómicos e ambientais, contribuindo para uma identificação mais atempada de situações de risco e para a adoção de medidas de prevenção adequadas. A integração com sistemas de comunicação e gestão facilita ainda a emissão de alertas instantâneos, promovendo respostas mais céleres e eficazes a situações de perigo (Barata & da Cunha, 2019; Mendes, 2023).

Entre as aplicações mais relevantes destacam-se a deteção de posturas incorretas, a monitorização de movimentos repetitivos, o controlo de ruído e a medição da exposição a agentes perigosos, como poeiras ou vapores tóxicos. Estas funcionalidades, ao permitirem a deteção precoce de fatores de risco físicos e ambientais, contribuem para a prevenção de DME, doenças respiratórias e acidentes de trabalho. Por exemplo, Mendes (2023) refere que sensores de movimento integrados em cintas ou vestuário inteligente permitem alertar os trabalhadores sempre que são detetadas posturas de risco, incentivando correções imediatas que minimizam o impacto físico cumulativo.

A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA, 2024) destaca os dispositivos *wearables* direcionados para a monitorização ergonómica, como sensores incorporados em cintas, coletes e têxteis inteligentes, capazes de avaliar parâmetros como o ângulo de flexão lombar, a amplitude de movimentos dos ombros e a frequência de gestos repetitivos, fornecendo dados objetivos sobre posturas de trabalho, carga física e padrões de repetição de movimentos. Estes dispositivos, ao emitirem alertas imediatos quando detetam desvios posturais ou gestos de risco, contribuem para a correção em tempo real e para a redução do impacto cumulativo de esforços físicos inadequados, evidenciando a expansão destas tecnologias para além da monitorização estritamente fisiológica (Martins *et al.*, 2021; Mendes, 2023; Khakurel *et al.*, 2018).

Adicionalmente, a interoperabilidade entre dispositivos e a sua integração com plataformas de gestão de dados têm sido apontadas como fatores críticos para uma monitorização mais holística e proativa da SST. Estes sistemas possibilitam a recolha e análise contínua de grandes volumes de informação, promovendo uma gestão proativa da segurança no trabalho (Martins *et al.*, 2021; Barata & da Cunha, 2019).

Apesar do seu potencial, a eficácia prática destas tecnologias depende de fatores como a fiabilidade e a precisão dos sensores, o custo de implementação, a necessidade de formação dos trabalhadores para interpretar corretamente os alertas, bem como a aceitação cultural no local de trabalho (Khakurel *et al.*, 2018; Majumder *et al.*, 2017). Adicionalmente, pode ocorrer a fadiga de alarmes quando a frequência excessiva de notificações gera habituação e menor atenção, desvalorizando os alertas e diminuindo a eficácia preventiva (Khakurel *et al.*, 2018; Mendes, 2023).

A implementação de tecnologias *wearables* em contexto laboral levanta desafios significativos no domínio da proteção de dados pessoais, uma vez que estes dispositivos recolhem informações sensíveis relacionadas com a saúde, localização e comportamento dos trabalhadores. O Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), aplicável em todos os Estados-Membros da União Europeia, estabelece que a recolha, tratamento e armazenamento de dados pessoais devem obedecer aos princípios da legalidade, finalidade, minimização e transparência, sendo necessário garantir o consentimento informado dos trabalhadores e a salvaguarda dos seus direitos (Regulamento [UE] 2016/679, art. 5.º).

Bevitt *et al.* (2015) salientam a importância de definir políticas rigorosas de acesso, armazenamento e utilização dos dados recolhidos por dispositivos *wearables* no local de trabalho, sublinhando a necessidade de adotar medidas técnicas como a encriptação e a anonimização para garantir a privacidade dos trabalhadores e prevenir abusos.

A análise anterior evidenciou o contributo crescente das tecnologias *wearables* para a monitorização da SST, destacando o seu potencial em contextos laborais exigentes. Importa agora compreender como estas soluções têm vindo a ser adotadas no contexto nacional. O subcapítulo seguinte apresenta exemplos concretos de implementação em Portugal, identificando os setores pioneiros, os principais desafios enfrentados e as oportunidades emergentes para a integração estratégica destas tecnologias.

2.4. Utilização de tecnologias *wearables* em Portugal

Em Portugal, a adoção de tecnologias *wearables* em contexto laboral tem vindo a crescer de forma gradual, embora ainda marcada por uma fase exploratória e com níveis de maturidade distintos entre setores. Um dos exemplos mais frequentemente associados ao país é o da Autoeuropa, onde foram testados exoesqueletos passivos

para apoio ergonómico nas linhas de montagem, com o objetivo de reduzir a fadiga muscular em tarefas repetitivas e acima da linha dos ombros. Esta iniciativa, integrada em programas de melhoria contínua da ergonomia, permitiu avaliar os impactos ao nível do conforto e da produtividade, mostrando-se relevante na prevenção de DME em operadores industriais (INESC TEC, 2023).

Complementarmente, a mesma empresa participou no projeto *Digital Enhanced Operator* (DEO) (2021–2023), desenvolvido em parceria com o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC) e a empresa SkillAugment, no âmbito do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI), com financiamento do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). Este projeto introduziu *Head Mounted Displays (HMD)*, dispositivos de visualização montados na cabeça, com RA para apoio às operações de produção e controlo de qualidade, fornecendo instruções passo-a-passo em tempo real e permitindo a deteção imediata de anomalias. A iniciativa reforçou o papel das tecnologias *wearables* não apenas na dimensão ergonómica, mas também na componente cognitiva e organizacional, demonstrando o potencial de integração destas soluções para aumentar a segurança, a eficiência e a resiliência industrial (INESC TEC, 2023).

Para além do setor industrial, também a construção civil tem vindo a explorar o potencial destas tecnologias, sobretudo em projetos de investigação. Neste sentido, Pereira *et al.* (2024) e Barata & da Cunha (2019) têm vindo a explorar o potencial dos dispositivos *wearables* para a monitorização da exposição ao risco de queda em altura, nomeadamente através da utilização de sensores inerciais e sistemas de alerta. Pereira *et al.* (2024) destacam a aplicação de tecnologias de monitorização em tempo real em estaleiros de obras portuguesas, sublinhando o seu contributo para a prevenção de acidentes graves. Por seu lado, Barata & da Cunha (2019) abordam o papel emergente dos dispositivos *wearables* na segurança em obra, enfatizando a necessidade de integração destes dispositivos com os sistemas de gestão e cultura organizacional existentes.

Na área da saúde, alguns hospitais portugueses testaram soluções como pulseiras inteligentes e sensores de proximidade durante a pandemia de COVID-19, com o intuito de reforçar o distanciamento social, rastrear contactos e monitorizar o estado de saúde de profissionais e pacientes. Estas experiências, documentadas em relatórios da Direção-Geral da Saúde (DGS, 2021), demonstraram a viabilidade da aplicação de tecnologias *wearables* em ambientes clínicos exigentes, embora tenham levantado questões relacionadas com a privacidade e a aceitação por parte dos utilizadores.

Para além do contexto hospitalar, o setor energético também ensaiou soluções *wearables*. Em 2019, a Energias de Portugal (EDP) Produção levou a cabo um projeto-

piloto com óculos de RA aplicados a operações de manutenção e inspeção em centrais energéticas, com o objetivo de reforçar a segurança e otimizar procedimentos. Neste caso, os dispositivos *wearables* foram usados sobretudo como apoio operacional, fornecendo instruções passo a passo e suporte remoto, e não para monitorização biométrica. Este projeto-piloto, divulgado em relatórios institucionais da empresa, evidenciou a aposta do setor energético português em soluções de digitalização da segurança (EDP, 2019).

Apesar destas iniciativas, persistem barreiras significativas à implementação generalizada de tecnologias *wearables* no país. Entre os principais obstáculos destacam-se os custos associados aos dispositivos, a resistência à mudança por parte de alguns trabalhadores e a falta de regulamentação específica, ainda inexistente em Portugal, que oriente a sua utilização no contexto da legislação laboral e da proteção de dados. A literatura nacional e internacional sobre gestão de sistemas de SST sublinha ainda a escassez de programas de formação e sensibilização como um fator que limita a integração eficaz destas ferramentas nas práticas de segurança (da Silva & Amaral, 2019; Salguero-Caparrós *et al.*, 2020).

Do ponto de vista cultural e organizacional, o contexto português caracteriza-se por uma abordagem ainda reativa à SST, com fraca tradição em investimento tecnológico preventivo. No entanto, a crescente consciencialização para os benefícios da digitalização e o reforço das exigências legais e sociais no domínio da responsabilidade organizacional poderão abrir espaço para uma adoção mais estruturada e estratégica dos dispositivos *wearables* no futuro (EU-OSHA, 2023).

Com base na análise da literatura e de projetos identificados em contexto nacional, a Tabela 2 sintetiza exemplos de utilização e estudo de tecnologias *wearables* em Portugal, indicando os setores de aplicação, os objetivos principais, os dispositivos e natureza das iniciativas.

A ilustração destas experiências práticas e projetos nacionais demonstra o potencial de Portugal para adotar soluções tecnológicas avançadas em SST, embora a sua disseminação ainda dependa de fatores estruturais como o investimento, a cultura de prevenção e o alinhamento com políticas públicas. As barreiras descritas refletem tendências também observadas a nível europeu, como salientado por Salguero-Caparrós *et al.* (2020), mostrando que os desafios nacionais não são exceção, mas parte de uma realidade mais ampla e partilhada.

Tabela 2 - Iniciativas com aplicação de tecnologias wearables em SST em Portugal

Nº	Autores	Crítérios	Descrição
1	Volkswagen Autoeuropa (s.d.)	Setor de aplicação	Indústria automóvel (Autoeuropa).
		Objetivos principais	Reduzir fadiga muscular e melhorar a ergonomia em tarefas repetitivas acima da linha dos ombros.
		Dispositivos utilizados	Exoesqueletos passivos.
2	INESC TEC, Skillaugment & Autoeuropa (2021–2023) – Projeto DEO	Setor de aplicação	Indústria automóvel.
		Objetivos principais	Apoio cognitivo, redução de erros humanos e reforço da resiliência industrial.
		Dispositivos utilizados	<i>Head Mounted Displays</i> (HMDs) com RA.
3	Pereira <i>et al.</i> (2024)	Setor de aplicação	Construção civil (Portugal, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)).
		Objetivos principais	Monitorização em tempo real do risco de queda em altura em estaleiros portugueses.
		Dispositivos utilizados	Sensores inerciais; sistemas de alerta em tempo real.
4	Barata & da Cunha (2019)	Setor de aplicação	Construção civil/ Indústria.
		Objetivos principais	Integração de <i>wearables</i> com sistemas de gestão de segurança; prevenção de acidentes.
		Dispositivos utilizados	<i>Smartglasses</i> ; sensores de ambiente.
5	Ferreira <i>et al.</i> (2021)	Setor de aplicação	Saúde (hospitais portugueses)
		Objetivos principais	Monitorização de profissionais e doentes; rastreio de contactos; reforço do distanciamento social na pandemia.
		Dispositivos utilizados	Pulseiras inteligentes; sensores de proximidade.
6	EDP (2019)	Setor de aplicação	Energia (centrais elétricas).
		Objetivos principais	Apoio remoto, inspeção e formação em operações de manutenção.
		Dispositivos utilizados	Óculos de RA.
7	Sousa <i>et al.</i> (2022)	Setor de aplicação	Multissetorial.
		Objetivos principais	Identificação de barreiras à adoção de tecnologias digitais na SST em Portugal.
		Dispositivos utilizados	Estudo sobre perceções e formação.
8	Gonçalves <i>et al.</i> (2020)	Setor de aplicação	Multissetorial.
		Objetivos principais	Análise cultural e organizacional da prevenção em SST em Portugal.
		Dispositivos utilizados	Estudo sobre cultura de prevenção.

2.5. Benefícios, desafios e limitações das tecnologias *wearables*

Apesar do elevado potencial das tecnologias *wearables* na promoção da SST, a sua implementação em contexto laboral continua a enfrentar desafios significativos. A aceitação por parte dos trabalhadores é um dos fatores mais críticos, estando diretamente associada à perceção de utilidade dos dispositivos, assim como à transparência sobre o uso dos dados recolhidos e ao grau de envolvimento dos utilizadores no processo de seleção tecnológica. Estudos recentes sublinham que a participação ativa dos trabalhadores na escolha e implementação das soluções contribui para uma experiência mais positiva, aumentando a aceitação e adesão. Além disso, a perceção de controlo e o sentimento de confiança crescem quando os trabalhadores participam nas decisões, ajudando a reduzir resistências e receios associados à monitorização contínua, o que facilita a integração dos dispositivos no quotidiano laboral (Khakurel *et al.*, 2018; Majumder *et al.*, 2017; Svertoka *et al.*, 2021; Mendes, 2023).

A integração destas tecnologias com os sistemas organizacionais existentes pode também representar uma limitação operacional. A aplicação de ferramentas de diagnóstico ergonómico exige um alinhamento eficaz entre os dados recolhidos pelos dispositivos e as decisões de gestão, o que implica formação adequada e uma adaptação às capacidades físicas e cognitivas dos trabalhadores. Estas exigências implicam investimentos em formação contínua e adaptação dos fluxos de trabalho, essenciais para uma implementação eficaz (Ispăsoiu *et al.*, 2024).

No plano ético e organizacional, Bevitt *et al.* (2015) alertam para os riscos de uma monitorização intrusiva, que pode comprometer a confiança dos trabalhadores se não forem estabelecidas políticas claras quanto ao acesso, tratamento e finalidade dos dados recolhidos. A definição de limites éticos e operacionais, aliada a medidas de transparência e consentimento, revela-se essencial para promover uma adoção equilibrada e sustentável destas tecnologias em contexto laboral (Bevitt *et al.*, 2015; Mendes, 2023).

Outro desafio relevante prende-se com a robustez e consistência da evidência científica disponível. Embora vários estudos reconheçam o valor potencial das tecnologias *wearables*, persiste uma lacuna em termos de validação empírica sistemática e comparável. Para além disso, os riscos ocupacionais estão bem documentados, mas ainda não existem níveis universalmente seguros de exposição nem práticas preventivas uniformizadas, o que dificulta a generalização dos resultados e a formulação de diretrizes padronizadas (EU-OSHA, 2023).

Ainda assim, diversos benefícios têm sido identificados nos contextos em que estas tecnologias foram aplicadas com sucesso. Entre os principais ganhos destacam-se a deteção precoce de sinais de fadiga e *stress* térmico (Martins *et al.*, 2021), a

monitorização em tempo real de variáveis fisiológicas e ambientais (Mendes, 2023), a prevenção de DME através da correção de posturas inadequadas (EU-OSHA, 2023), bem como a melhoria da resposta em situações de emergência (DGS, 2021). Além disso, a sua utilização tem sido associada à redução do número de acidentes, ao aumento do bem-estar dos trabalhadores e à melhoria da eficiência operacional (Mendes, 2023).

Os principais desafios na adoção de tecnologias *wearables* incluem questões técnicas, como a fiabilidade e compatibilidade dos dispositivos; organizacionais, como a integração nos sistemas existentes e a formação dos utilizadores; e éticas, relativas à proteção de dados pessoais e à confiança dos trabalhadores (Bevitt *et al.*, 2015; Mendes, 2023). Ultrapassar estes obstáculos é fundamental para desbloquear todo o potencial transformador destas tecnologias no domínio da SST.

Neste sentido, Sousa *et al.* (2022) reforçam que muitos dos benefícios e barreiras identificados na integração de tecnologias inovadoras coincidem com aqueles observados na implementação dos sistemas de gestão de SST em geral. Entre os *drivers* apontados, destacam-se o compromisso da liderança, a cultura de prevenção e o envolvimento dos trabalhadores, fatores igualmente decisivos para a aceitação dos dispositivos *wearables*. Já entre as barreiras, surgem de forma recorrente os custos de implementação, a resistência organizacional e a ausência de regulamentação clara, aspetos também visíveis no contexto específico dos dispositivos *wearables*. Esta convergência demonstra que a adoção destas tecnologias não deve ser vista de forma isolada, mas como parte de uma estratégia mais ampla de gestão integrada da SST.

Autores como Jacobs *et al.* (2019), Aksüt *et al.* (2024) e Maksimovic *et al.* (2022) reforçam que o envolvimento dos trabalhadores na seleção e implementação das tecnologias é fundamental para uma adesão mais eficaz. Estes estudos destacam ainda que o sucesso da integração tecnológica depende não só do dispositivo em si, mas do alinhamento entre a tecnologia, as práticas organizacionais e a cultura de segurança da empresa.

Por fim, a necessidade de programas de formação contínua é uma limitação frequentemente apontada. A complexidade técnica dos dispositivos e a exigência de adaptação dos fluxos de trabalho requerem investimentos em capacitação dos utilizadores, o que implica um compromisso organizacional robusto para garantir a sustentabilidade do processo de implementação (Ispăsoiu *et al.*, 2024; Baklouti *et al.*, 2024).

3. Metodologia Proposta

Este capítulo apresenta a abordagem metodológica adotada na presente dissertação, com especial destaque na realização de uma RSL. Inicialmente, é realizada uma contextualização dos diferentes tipos de revisão de literatura existentes, salientando-se as suas principais características e aplicabilidades. Posteriormente, descreve-se detalhadamente o procedimento metodológico seguido para a condução da RSL, de acordo com o protocolo PRISMA, contemplando as fases de conceptualização, pesquisa, avaliação, análise e sumarização dos estudos incluídos.

3.1. Tipos de revisão de literatura

As revisões de literatura constituem uma etapa essencial na investigação científica, permitindo identificar o estado da arte de um determinado tema, mapear lacunas de conhecimento e fundamentar novas propostas de estudo. Existem diferentes tipos de revisão, cada uma com finalidades, níveis de rigor e abordagens metodológicas distintas (Creswell, 2014; Grant & Booth, 2009; Kitchenham & Charters, 2007; Carrera-Rivera *et al.*, 2022). Quando se pretende maximizar a rastreabilidade, transparência e redução de viés, a RSL é particularmente indicada (Snyder, 2019; Page *et al.*, 2021).

A Revisão Narrativa da Literatura (RNL) é uma abordagem descritiva, frequentemente utilizada em fases iniciais de investigação. O seu objetivo principal é apresentar uma visão geral de um tema, explorando conceitos, teorias e evidências relevantes, muitas vezes com base na experiência e interpretação do investigador. Como refere Creswell (2014), este tipo de revisão é útil para construir quadros teóricos iniciais, embora não siga um protocolo sistemático de recolha e análise da informação, o que pode aumentar o risco de viés. Segundo Cordeiro *et al.* (2007), este tipo de revisão é particularmente adequado quando se pretende contextualizar um fenómeno ou estabelecer as bases conceptuais de uma problemática. Contudo, apresenta também limitações associadas à subjetividade, como salientam Jahan *et al.* (2016). Em síntese, a RNL não exige procedimentos padronizados de busca, seleção e avaliação, o que a torna menos reprodutível face à RSL (Snyder, 2019).

A Revisão Integrativa da Literatura (RIL) permite a combinação de estudos com diferentes metodologias, qualitativas, quantitativas ou mistas, integrando os seus resultados numa síntese coerente. Esta abordagem é recomendada quando se pretende obter uma compreensão mais abrangente sobre um fenómeno, possibilitando a formulação de modelos conceptuais ou a redefinição de categorias de análise. Creswell (2014) destaca a sua relevância para investigações com foco na análise crítica de evidências variadas, sendo amplamente utilizada em estudos nas áreas sociais e da

saúde. Ainda assim, a RIL tende a apresentar menor padronização processual do que a RSL, o que pode reduzir a comparabilidade e a reprodutibilidade (Toronto & Remington, 2020; Dhollande *et al.*, 2021).

A RSL, por sua vez, caracteriza-se por seguir um protocolo rigoroso, transparente e reprodutível. O seu principal objetivo é localizar, selecionar, avaliar e sintetizar criticamente os estudos mais relevantes sobre uma questão de investigação específica. De acordo com Creswell (2014), esta abordagem reforça a fiabilidade da revisão ao minimizar o viés na seleção das fontes e ao tornar explícitos os critérios de inclusão, exclusão e avaliação. Grant & Booth (2009) sublinham que este tipo de revisão é particularmente adequado quando se pretende reunir evidência empírica consolidada sobre uma temática específica. Kitchenham & Charters (2007) reforçam que a adoção de protocolos rigorosos garante maior replicabilidade dos resultados em diferentes áreas do conhecimento, enquanto Carrera-Rivera *et al.* (2022) salientam a importância da aplicação consistente destes princípios na ciência contemporânea. Frequentemente, são aplicadas diretrizes reconhecidas internacionalmente, como o protocolo PRISMA, que estrutura o processo de forma sequencial e permite a replicabilidade (Moher *et al.*, 2009; Page *et al.*, 2021). Esta ênfase em protocolo explícito e rastreável é também destacada em sínteses recentes (Snyder, 2019).

Para garantir a qualidade e a reprodutibilidade, são frequentemente aplicadas diretrizes reconhecidas internacionalmente, como o protocolo PRISMA. Inicialmente publicado em 2009 (Moher *et al.*, 2009), este protocolo foi atualizado em 2020 para refletir as exigências atuais de transparência e clareza na apresentação dos resultados (Page *et al.*, 2021), sendo esta a versão de referência utilizada no presente estudo.

A Revisão de Escopo (*Scoping Review*) tem como principal objetivo mapear a extensão, variedade e natureza da literatura disponível sobre um determinado tema, sem a obrigatoriedade de avaliar a qualidade metodológica dos estudos incluídos. É particularmente útil quando os conceitos são emergentes, complexos ou pouco estudados, servindo como base para a formulação de questões de investigação mais específicas (Munn *et al.*, 2018). Dado o seu foco no mapeamento amplo e exploratório, a sua condução e relato devem seguir o PRISMA-ScR (Tricco *et al.*, 2018).

A Revisão Sistemática com Meta-Análise representa uma extensão quantitativa da RSL, combinando estatisticamente os resultados de diferentes estudos primários para estimar o efeito agregado de uma determinada intervenção ou variável. Esta técnica aumenta o poder estatístico da análise e permite identificar padrões ou tendências não evidentes em estudos individuais (Cordeiro *et al.*, 2007; Moher *et al.*, 2009). Contudo, a realização de meta-análises depende de pressupostos de comparabilidade;

heterogeneidade elevada entre populações, intervenções, medidas e desfechos pode inviabilizar a síntese estatística (Higgins *et al.*, 2022).

A Revisão Rápida é uma adaptação simplificada da revisão sistemática, realizada em prazos mais curtos e com recursos reduzidos. Tem vindo a ganhar popularidade em contextos de decisão política ou prática clínica, onde a necessidade de evidência rápida é crítica, mesmo que isso implique algumas limitações metodológicas (Grant & Booth, 2009). As simplificações usadas devem ser transparentes, reconhecendo o potencial compromisso de profundidade/abrangência face a RSL completas (Garritty *et al.*, 2021).

Tendo em conta os objetivos do presente estudo, que visa analisar de forma criteriosa o impacto das tecnologias *wearables* na monitorização da SST, optou-se pela realização de uma RSL. Esta escolha fundamenta-se na sua capacidade de assegurar robustez metodológica, rastreabilidade e transparência em todas as etapas do processo, bem como na redução do risco de viés na seleção e interpretação dos estudos (Grant & Booth, 2009; Creswell, 2014; Kitchenham & Charters, 2007; Carrera-Rivera *et al.*, 2022). A opção é consistente com a literatura recente sobre qualidade e transparência em revisões (Snyder, 2019; Page *et al.*, 2021). Outras formas de revisão foram consideradas, mas excluídas por diferentes razões. A RNL, apesar de útil para a construção de quadros teóricos iniciais e para contextualizar fenómenos, apresenta limitações pela ausência de um protocolo sistemático e pela maior subjetividade associada à interpretação do autor (Creswell, 2014; Cordeiro *et al.*, 2007; Jahan *et al.*, 2016; Snyder, 2019). A RIL, embora permita a síntese de evidências de diferentes naturezas, não assegura o mesmo nível de rigor metodológico e de reprodutibilidade que caracteriza a RSL (Creswell, 2014; Toronto & Remington, 2020; Dhollande *et al.*, 2021). A Revisão de Escopo é indicada sobretudo em fases exploratórias ou em temáticas emergentes, dado que se centra no mapeamento da extensão e diversidade da literatura sem avaliar a qualidade metodológica dos estudos incluídos (Munn *et al.*, 2018; Tricco *et al.*, 2018). A Revisão Sistemática com Meta-Análise, por seu lado, pressupõe uma homogeneidade metodológica nos estudos primários que não se verifica na literatura sobre *wearables* em contextos ocupacionais, o que inviabiliza a sua aplicação (Cordeiro *et al.*, 2007; Moher *et al.*, 2009; Higgins *et al.*, 2022). Já a Revisão Rápida, embora útil em contextos de decisão imediata, compromete a abrangência e a profundidade da análise devido à simplificação dos procedimentos metodológicos (Grant & Booth, 2009; Garritty *et al.*, 2021). Assim, a escolha da RSL, em articulação com as diretrizes atualizadas do protocolo PRISMA (Moher *et al.*, 2009; Page *et al.*, 2021), revela-se a mais adequada aos objetivos da presente dissertação, garantindo uma análise crítica, abrangente e transparente da literatura existente. Adicionalmente, a inexistência de condições para meta-análise, por heterogeneidade substantiva entre

estudos, foi considerada de acordo com a orientação metodológica atual (Higgins *et al.*, 2022).

3.2. Procedimento metodológico adotado na RSL

A RSL adotada neste trabalho seguiu os princípios do protocolo PRISMA, de modo a garantir rigor, transparência e reprodutibilidade no processo de identificação, seleção e análise dos estudos científicos (Jahan *et al.*, 2016). A abordagem metodológica centrou-se na resposta a quatro questões de investigação específicas, com base na análise de artigos científicos disponíveis em acesso aberto. Para tal, foram seguidas cinco fases (Figura 1): conceptualização, estudo da literatura existente, avaliação da pesquisa, análise da pesquisa e sumarização da RSL (Farias *et al.*, 2017; Espadinha-Cruz *et al.*, 2021.).

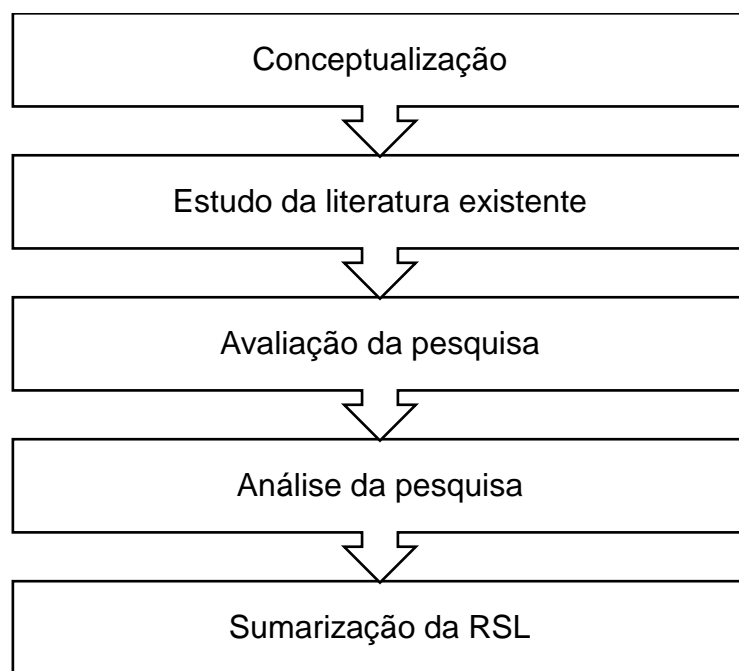


Figura 1 - Fases da RSL

Relativamente à primeira fase, Conceptualização, esta etapa corresponde à definição clara do foco da investigação, através da formulação de questões de investigação específicas, relevantes e delimitadas. Numa revisão sistemática, esta fase é fundamental para assegurar a coerência de todo o processo, orientando a seleção dos estudos e os critérios de análise. Além disso, é nesta etapa que se estabelecem os objetivos da revisão, bem como os critérios de inclusão e exclusão dos artigos, os quais

garantem a uniformidade e o rigor na seleção das fontes (Jahan *et al.*, 2016; Espadinha-Cruz *et al.*, 2021).

A segunda fase, Estudo da literatura existente, corresponde à pesquisa sistemática nas bases de dados científicas selecionadas, utilizando estratégias de busca estruturadas com palavras-chave e operadores booleanos adequados. Esta pesquisa visa localizar os estudos relevantes para a temática em análise, assegurando a sua reprodutibilidade. A escolha das bases de dados, como *Scopus*, *WoS* ou *ScienceDirect*, deve estar alinhada com a área científica em questão. A aplicação de filtros e critérios de pesquisa ajuda a delimitar os resultados e a aumentar a pertinência dos estudos selecionados (Farias *et al.*, 2017).

A terceira fase, Avaliação da pesquisa, compreende a triagem e análise preliminar dos estudos identificados. Esta etapa envolve a leitura dos títulos, resumos e, posteriormente, do texto integral dos artigos, com vista à aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Durante este processo, é fundamental manter registos transparentes e reprodutíveis das decisões tomadas, tal como recomendado pelas boas práticas do protocolo PRISMA. Esta etapa pode também incluir a avaliação da qualidade metodológica dos estudos, utilizando instrumentos apropriados para esse fim (Jahan *et al.*, 2016).

A quarta fase, Análise da pesquisa, corresponde ao exame sistemático da informação contida nos estudos incluídos. Através de uma grelha de extração de dados, procede-se à recolha estruturada das informações mais relevantes, tais como objetivos, metodologias, tipos de dispositivos analisados, variáveis estudadas e principais conclusões. Esta análise permite identificar padrões, lacunas e convergências entre os estudos, constituindo a base para a discussão dos resultados. Trata-se de uma etapa crítica para garantir a consistência e a comparabilidade entre as fontes (Espadinha-Cruz *et al.*, 2021).

Por último, a quinta fase, Sumarização da RSL, corresponde à organização e síntese dos dados extraídos. Esta síntese pode assumir diferentes formatos, narrativo, temático ou tabular, conforme a natureza dos dados e os objetivos da revisão. Nesta etapa, os estudos são organizados em função das perguntas de investigação formuladas na fase de conceptualização, facilitando a apresentação estruturada dos resultados e a identificação de tendências, benefícios, limitações e implicações para a prática e para futuras investigações. A sumarização final constitui, assim, o culminar do processo sistemático, proporcionando uma visão crítica e fundamentada sobre o estado da arte do tema analisado (Jahan *et al.*, 2016; Farias *et al.*, 2017).

Os detalhes específicos da estratégia de pesquisa, dos critérios de inclusão e exclusão, bem como o fluxograma PRISMA que detalha o processo de seleção dos estudos, serão apresentados no Capítulo 4, dedicado à aplicação prática da RSL.

4. Aplicação da RSL

Este capítulo apresenta a aplicação prática da metodologia definida no capítulo anterior, incidindo sobre as cinco fases da revisão sistemática da literatura: conceptualização, estudo da literatura existente, avaliação da pesquisa, análise dos dados obtidos e sumarização dos resultados. O objetivo é demonstrar de forma estruturada como o processo foi conduzido, desde a formulação das questões de investigação até à síntese final, assegurando a rastreabilidade e a transparência metodológica.

4.1. Conceptualização

A crescente digitalização dos ambientes laborais e a necessidade de reforçar a SST têm impulsionado o interesse pelas tecnologias *wearables*, que permitem a monitorização contínua e em tempo real de variáveis fisiológicas, comportamentais e ambientais. Estes dispositivos apresentam um potencial significativo para transformar a gestão dos riscos profissionais, promovendo ambientes de trabalho mais seguros, inteligentes e responsivos (*Ispășoiu et al., 2024; Maksimović et. al, 2022; Monaco et.al, 2024*). Esta tendência ganha relevância por permitir recolher dados objetivos e imediatos, contribuindo para uma atuação mais proativa na prevenção de riscos profissionais (*Shah & Mishra, 2024; Ispășoiu et al., 2024; Aksüt et al., 2024*). Assim, investigar o papel dos *wearables* na SST é fundamental para compreender o seu potencial de inovação, mas também as barreiras que ainda condicionam a sua aplicação generalizada (*Jacobs et al., 2019*).

Atualmente, não existe um consenso na literatura. Por um lado, alguns autores salientam vantagens claras, como a deteção precoce de situações de risco e de fadiga, o apoio ergonómico e o aumento da eficiência operacional (*Ispășoiu et al., 2024; Aksüt et al., 2024; Maksimović et. al, 2022; Patel et al., 2022*). Por outro lado, persistem preocupações relacionadas com a proteção de dados, a resistência dos trabalhadores à monitorização contínua e a falta de evidência empírica robusta que comprove a eficácia destes dispositivos em diferentes setores (*Jacobs et al., 2019; Graeve et al., 2016; Nkrumah et al., 2021*). Esta dualidade de perspetivas reforça a necessidade de sistematizar o conhecimento existente de forma crítica e estruturada. Apesar da multiplicidade de aplicações possíveis e dos avanços tecnológicos, subsistem dúvidas quanto à sua eficácia, aplicabilidade generalizada e aceitação em contextos

profissionais diversificados (Jacobs *et al.*, 2019). Enquanto alguns autores como Aksüt *et al.* (2024), Ispăsoiu *et al.*, (2024) e Patel *et al.* (2022) salientam benefícios relevantes, como a deteção precoce de situações de risco, o apoio ergonómico e o aumento da eficiência operacional, outros autores como Graeve *et al.* (2016), Jacobs *et al.* (2019) e Nkrumah *et al.* (2021) alertam para limitações significativas, relacionadas com a proteção de dados, a resistência dos trabalhadores à monitorização contínua e a escassez de evidência empírica robusta que comprove a eficácia destas tecnologias em diferentes setores.

Tendo em conta este contexto e a necessidade de produzir conhecimento estruturado e fundamentado, optou-se por realizar uma RSL, seguindo as orientações metodológicas descritas no capítulo anterior. A análise centrou-se em artigos de acesso aberto com aplicação prática de tecnologias *wearables* em contexto de SST, permitindo responder às seguintes questões de investigação (QIs):

- QI1: De que forma as tecnologias *wearables* podem prevenir acidentes e doenças profissionais?
- QI2: Quais os desafios e limitações na implementação de tecnologias *wearables* em contexto de trabalho?
- QI3: Quais são as métricas e indicadores mais utilizados para avaliar a eficácia das tecnologias *wearables* na monitorização da SST?
- QI4: Quais são as vantagens e limitações das tecnologias *wearables* no desempenho operacional e na eficiência da produção?

Para assegurar a qualidade da amostra analisada, foram definidos critérios de inclusão e exclusão. Foram incluídos artigos científicos em acesso totalmente aberto, publicados em inglês ou português, que apresentassem contributos diretos ou indiretos para a aplicação de *wearables* em SST. Foram excluídos estudos com acesso restrito, duplicados, ou que não abordassem de forma clara os objetivos desta investigação. Os critérios de inclusão e exclusão dos estudos analisados serão detalhados na secção seguinte, tendo por base diretrizes metodológicas propostas por Jahan *et al.* (2016) e Kitchenham e Charters (2007).

4.2. Estudo da Literatura Existente

A pesquisa bibliográfica realizada nesta dissertação seguiu os princípios do protocolo PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021), amplamente reconhecido pela sua capacidade de assegurar rigor, reprodutibilidade e transparência na seleção dos estudos incluídos (Jahan *et al.*, 2016). A abordagem metodológica adotada permitiu conduzir uma análise estruturada da literatura científica relevante, com base numa estratégia clara e replicável, conforme representado na Figura 2 deste subcapítulo.

Foram selecionadas três bases de dados internacionais de elevado prestígio: WoS, *ScienceDirect* e *Scopus*. Estas plataformas destacam-se pela ampla cobertura de publicações académicas nas áreas da saúde, segurança ocupacional, engenharia e tecnologias emergentes, garantindo acesso a fontes científicas credíveis e atualizadas (Carrera-Rivera *et al.*, 2022; Pranckutė, 2021; Bergman, 2012).

A estratégia de pesquisa foi construída a partir de termos-chave representativos dos conceitos centrais da investigação. Foram utilizadas expressões como “*wearables technology*” ou “*wearables*”, associadas por operadores booleanos (*AND*, *OR*) às expressões “*occupational safety*”, “*occupational health*” e “*workplace safety*”. A *string* final utilizada para a pesquisa foi a seguinte: (“*wearable technology*” *OR* “*wearables*”) *AND* (“*occupational safety*” *OR* “*occupational health*” *OR* “*workplace safety*”). A pesquisa foi restrita aos campos *Title*, *Abstract* e *Keywords*, de modo a localizar estudos centrados na aplicação de tecnologias *wearables* em contextos de trabalho. O processo decorreu entre dezembro de 2024 e março de 2025.

Foram definidos critérios de inclusão rigorosos: apenas artigos científicos e de conferência em acesso totalmente aberto, publicados em português ou inglês. Os critérios de exclusão abrangeram documentos com acesso restrito ou erro de carregamento, duplicados entre bases de dados, bem como estudos sem contributos relevantes para as QI ou que não se enquadravam no domínio da SST.

A pesquisa inicial permitiu identificar 427 artigos (355 provenientes da WoS, 69 da *ScienceDirect* e 3 da *Scopus*). Após a aplicação dos filtros automáticos relativos a tipo de documento, idioma e acesso, foram considerados 181 artigos. Seguidamente, foram removidos 8 artigos duplicados e 3 artigos com erro ou restrição de acesso, resultando em 170 artigos triados.

Durante a fase de triagem, foi realizada a leitura dos títulos, palavras-chave e resumos, tendo sido excluídos 135 por não cumprirem os critérios temáticos definidos. Permaneceram 35 artigos nesta fase. Durante a avaliação de elegibilidade, 3 artigos não puderam ser recuperados, resultando em 32 artigos avaliados integralmente. Todos os 32 artigos lidos integralmente foram considerados relevantes e incluídos na amostra final da RSL.

A seleção dos estudos foi conduzida manualmente e de forma independente, com recurso ao *software Mendeley* para organização bibliográfica e deteção de duplicações. A Figura 2 ilustra o percurso completo da seleção dos artigos, de acordo com o protocolo PRISMA, incluindo as razões para exclusão em cada fase e o número final de estudos incluídos.

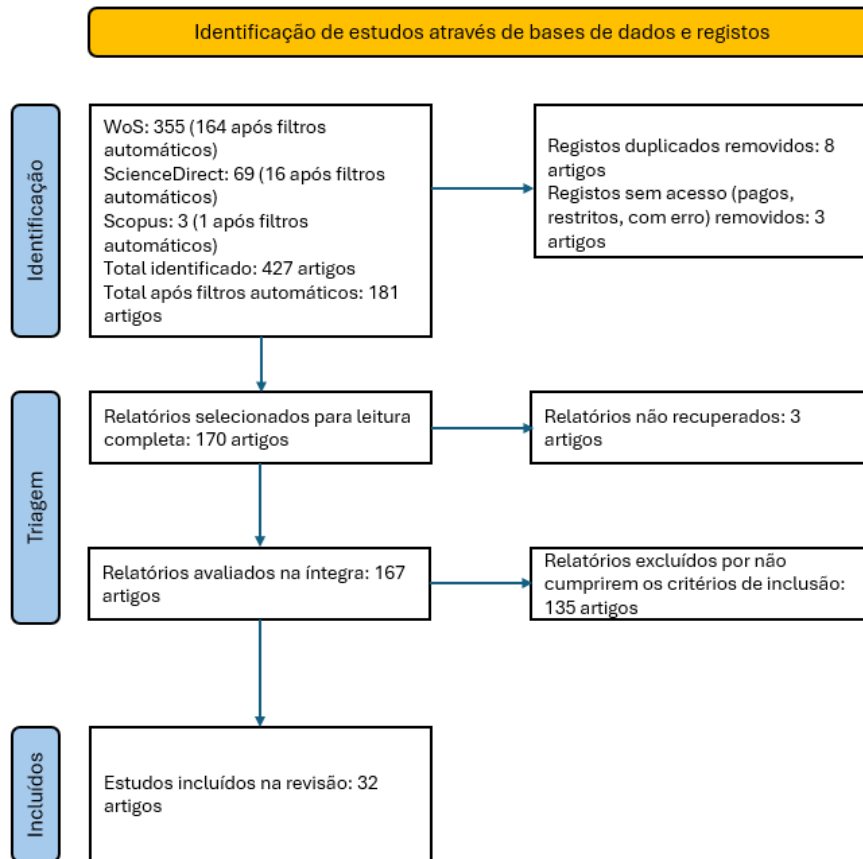


Figura 2 - Fluxograma PRISMA

4.3. Análise da pesquisa

A fase de análise corresponde ao momento em que os estudos selecionados são examinados em profundidade, de modo a compreender os seus contributos para a investigação. Esta etapa abrange tanto uma análise qualitativa, centrada no conteúdo dos artigos e nos resultados obtidos, como uma análise bibliométrica, destinada a identificar padrões, tendências e características editoriais da produção científica incluída. A integração destas duas abordagens permite construir uma visão estruturada sobre a utilização das tecnologias *wearables* na monitorização da SST, assegurando simultaneamente uma leitura crítica e uma caracterização global da literatura selecionada.

Após a conclusão das fases anteriores do protocolo PRISMA, conceptualização, pesquisa e avaliação, foram selecionados 32 artigos científicos que compõem a amostra final da presente RSL. Estes estudos foram analisados de forma qualitativa e quantitativa, com o objetivo de mapear o estado da arte relativamente à utilização de tecnologias *wearables* na monitorização da SST.

Durante a análise qualitativa, procurou-se identificar os contextos de aplicação das tecnologias *wearables*, os tipos de dispositivos utilizados, as variáveis monitorizadas, os impactos registados na saúde e segurança dos trabalhadores, bem como os benefícios, limitações e desafios reconhecidos pelos autores. Esta análise teve como base a grelha de extração de dados validada, aplicada uniformemente aos 32 artigos incluídos, e que permitiu uma leitura comparativa das suas principais características.

Assim, foram considerados elegíveis não apenas os estudos que apresentavam aplicação direta de tecnologias *wearables* em contexto de SST, mas também aqueles que, de forma indireta, abordavam dimensões relevantes para as QI definidas. Entre estas dimensões destacam-se a aceitação e adesão dos trabalhadores a novas tecnologias, os desafios organizacionais e culturais na implementação de sistemas digitais, as metodologias de avaliação da SST e as métricas de eficácia aplicáveis em diferentes contextos. Esta opção metodológica justifica-se pela necessidade de construir uma visão integrada e abrangente sobre o impacto das tecnologias *wearables*, compreendendo tanto a sua utilização prática como os fatores condicionantes da sua adoção e eficácia em ambiente laboral.

A informação extraída foi organizada segundo as seguintes categorias: autores e ano, título do estudo, tipo de estudo, objetivo, tipo de *wearable*, principais resultados e limitações. Esta sistematização está apresentada na Tabela 7 (Apêndice A), permitindo uma visão integrada e comparativa dos contributos de cada artigo. Além disso, os estudos foram agrupados de acordo com as quatro QI (QI1 a QI4), permitindo identificar de forma clara os contributos específicos de cada fonte para os objetivos do estudo.

Com base nesta análise, foi possível observar uma grande diversidade de contextos laborais, desde ambientes industriais e hospitalares até setores como a construção, os transportes ou a agricultura. A maioria dos artigos analisados adota abordagens aplicadas, com foco na prevenção de riscos físicos, na monitorização de sinais fisiológicos e na melhoria das práticas de gestão da segurança. Os tipos de dispositivos mais frequentes incluem sensores inerciais, *smartwatches*, roupas inteligentes e biossensores portáteis, com destaque para os que medem parâmetros como frequência cardíaca, variabilidade da frequência cardíaca ou em inglês *Heart Rate Variability* (HRV), postura corporal, atividade eletrotérmica e saturação de oxigénio no sangue.

Em termos metodológicos, predominaram os estudos de natureza experimental, observacional ou de aplicação em campo, com recolha de dados em ambientes reais de trabalho. Foram também identificados estudos exploratórios, revisões integrativas e propostas de modelos de apoio à decisão baseados em algoritmos ou métodos multicritério, como o *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE).

A análise qualitativa revelou ainda um conjunto de desafios recorrentes, nomeadamente a aceitação pelos trabalhadores, os custos dos dispositivos, a robustez das medições e as questões relacionadas com a privacidade dos dados. Estes aspetos serão aprofundados no capítulo seguinte, onde se procede à discussão dos resultados com base nas quatro QI.

4.4. Avaliação da pesquisa

A aplicação dos critérios de inclusão e exclusão definidos previamente permitiu assegurar a qualidade e a relevância dos estudos selecionados para esta revisão sistemática. Conforme apresentado na Figura 2 do subcapítulo 4.2, o processo de triagem seguiu as orientações do modelo PRISMA, conduzindo à exclusão progressiva de estudos não alinhados com os objetivos da investigação.

Dos 427 artigos inicialmente identificados nas três bases de dados (WoS, *ScienceDirect* e *Scopus*), foram excluídos 246 na fase automática (com base no tipo de documento, idioma e acesso), 8 por duplicação e 3 por erro de acesso. Na leitura de títulos, palavras-chave e resumos, foram ainda rejeitados 135 artigos por não apresentarem contributos relevantes para a aplicação direta ou indireta de tecnologias *wearables* em contextos de SST.

No total, foram incluídos 32 artigos, que respeitam os critérios metodológicos definidos e foram considerados adequados para responder às QI. Esta etapa de avaliação confirmou a pertinência dos critérios de seleção, permitindo filtrar a produção científica disponível e garantir que apenas os estudos com contributos efetivos foram analisados em profundidade. Os artigos incluídos apresentam diversidade metodológica e contextual, o que enriquece a discussão dos resultados apresentada nos capítulos seguintes.

De modo a possibilitar uma melhor compreensão, organização e sistematização das informações dos 32 artigos selecionados para uma análise mais aprofundada, procedeu-se à realização de uma análise qualitativa. Esta análise permitiu uma compreensão detalhada dos contributos de cada estudo incluído na RSL, considerando as respetivas características metodológicas, objetivos, tecnologias abordadas e limitações identificadas.

Para sistematizar esta análise, foi elaborada uma tabela de extração de dados, organizada segundo as seguintes categorias: Autores e Ano; Título do estudo; Tipo de estudo; Objetivo do estudo; Tipo de *wearables*; Principais resultados; e Limitações (Apêndice A).

Esta abordagem sistematizada possibilitou uma leitura comparativa dos estudos, evidenciando a diversidade metodológica e temática das investigações sobre

tecnologias *wearables* aplicadas à SST. Observa-se uma predominância de estudos quantitativos e experimentais, com foco na avaliação de sensores e dispositivos para monitorização ergonómica, fisiológica e ambiental, bem como na análise da aceitação e impacto operacional destes equipamentos. Além disso, incluem-se pesquisas que abordam desafios organizacionais e humanos, reforçando a multidimensionalidade do tema.

A análise qualitativa realizada fornece, assim, um suporte fundamental para a análise bibliométrica que se segue, permitindo compreender a distribuição temporal, geográfica e editorial dos trabalhos, bem como identificar tendências e lacunas na literatura. Esta sistematização constitui a base para a discussão aprofundada dos resultados, desenvolvida no capítulo seguinte.

Para complementar a análise qualitativa e aprofundar a compreensão da produção científica sobre tecnologias *wearables* aplicadas à SST, foi realizada uma análise bibliométrica. O objetivo foi identificar padrões, tendências e distribuições relevantes na literatura científica incluída na RSL.

Foram considerados diversos indicadores, incluindo a distribuição temporal das publicações, o tipo de documento, os autores e países de afiliação, as revistas e editoras responsáveis pela publicação dos estudos, bem como as palavras-chave mais frequentes. Os resultados foram organizados em gráficos, tabelas e mapas visuais, de forma a possibilitar uma leitura estruturada e comparativa da amostra.

Esta análise bibliométrica permitiu caracterizar o estado da arte neste domínio emergente, revelando simultaneamente o dinamismo científico que sustenta a investigação em tecnologias *wearables* e os desafios que ainda se colocam à consolidação do conhecimento. Os principais resultados obtidos são apresentados nas secções seguintes.

Importa, contudo, salientar que esta análise bibliométrica apresenta limitações, uma vez que reflete apenas os estudos incluídos na presente RSL. Assim, os resultados não representam a totalidade da produção científica existente sobre o tema, nomeadamente artigos publicados em regime de acesso restrito ou em outros idiomas que não o português e o inglês.

Distribuição temporal das publicações

A análise da distribuição temporal dos artigos evidencia um crescimento significativo do interesse científico pelas tecnologias *wearables* aplicadas à SST nos últimos anos. Embora os primeiros registos da amostra remontem a 2011, foi a partir de 2021 que se verificou um aumento expressivo do número de publicações, com especial destaque

para 2024, ano em que se concentram 12 dos 32 artigos incluídos na revisão sistemática.

O Gráfico 1 ilustra esta evolução, mostrando de forma clara a intensificação do interesse académico a partir de 2021 e confirmando a relevância emergente do tema no panorama científico internacional. Esta tendência sugere não apenas a consolidação das tecnologias *wearables* como objeto de investigação aplicada, mas também a sua progressiva integração em diferentes setores de atividade laboral.

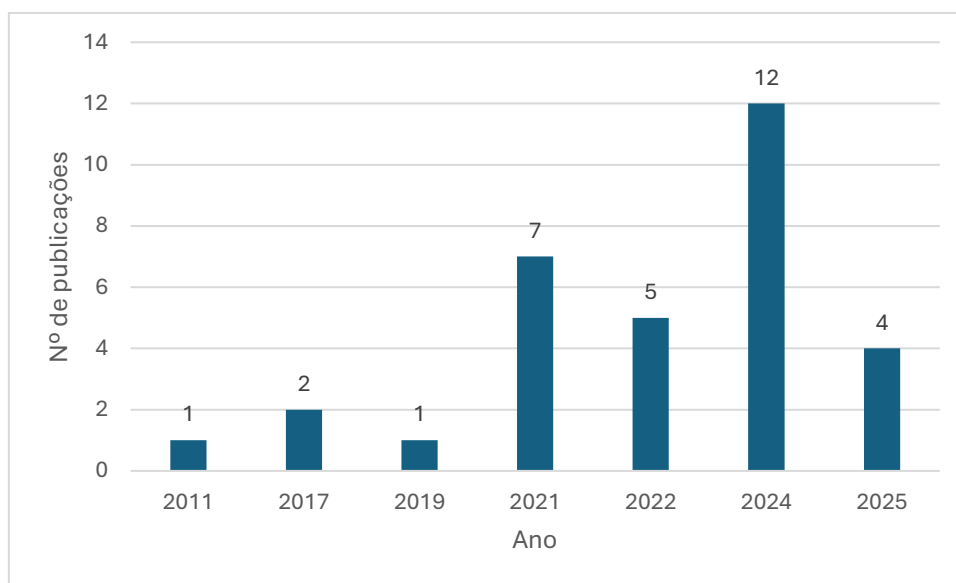


Gráfico 1 - Distribuição das publicações por ano

Distribuição geográfica das publicações

A análise da origem geográfica dos estudos incluídos na RSL permite compreender a dispersão internacional da investigação sobre tecnologias *wearables* aplicadas à SST. No total, foram identificados 45 autores afiliados a instituições de 28 países distintos, revelando a natureza global e interdisciplinar desta área de estudo.

Destacam-se os Estados Unidos da América, responsáveis por 8 publicações (17,8%), seguidos da Turquia (13,3%) e da Índia (6,7%). Países como Canadá, China e Itália contribuem cada um com 4,4% dos estudos. Esta concentração sugere que regiões com maior capacidade tecnológica e académica têm liderado a investigação neste domínio.

A restante produção distribui-se por diversos países europeus, asiáticos, africanos e da América Latina, refletindo o interesse crescente pelo tema, ainda que de forma desigual. Portugal, juntamente com Espanha, Reino Unido, França, Japão, Suécia e

México, surge representado por um único estudo (2,2%), o que evidencia uma presença ainda modesta, mas relevante, no panorama internacional.

O Gráfico 2 apresenta esta distribuição sob a forma de um mapa, permitindo observar a frequência relativa de publicações por país e as regiões de maior produção científica.

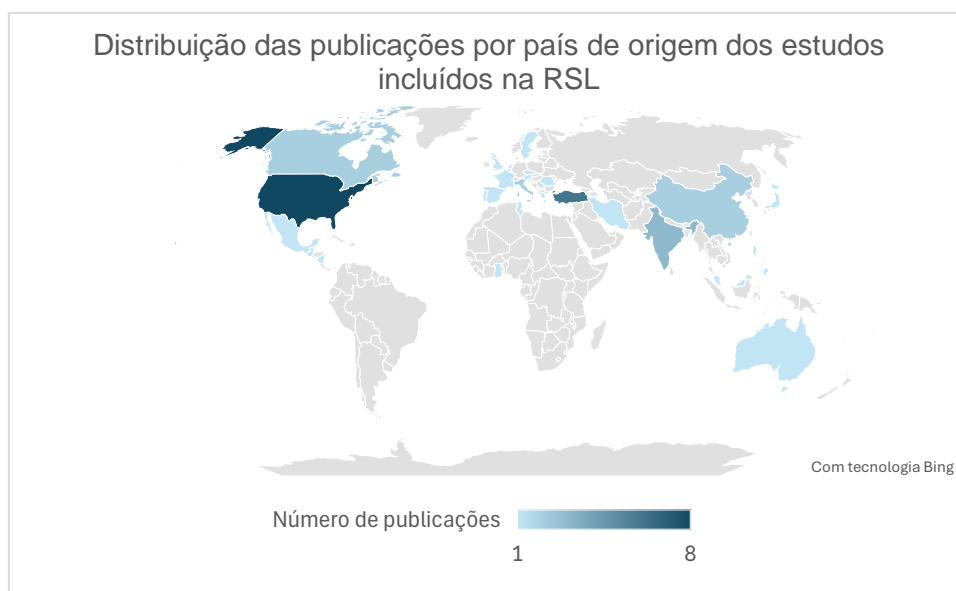


Gráfico 2 - Distribuição geográfica da investigação

Fontes de publicação

Os 32 artigos incluídos na revisão sistemática foram publicados em 30 revistas científicas distintas, o que evidencia uma dispersão significativa da produção científica nesta área. Esta diversidade editorial confirma o carácter multidisciplinar da investigação sobre tecnologias *wearables* aplicadas à SST, abrangendo domínios como a saúde pública, enfermagem, engenharia, ergonomia, ciências ambientais e ciências sociais.

A revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* foi a única a reunir mais do que uma publicação, totalizando três artigos. As restantes revistas publicaram apenas um artigo cada, incluindo títulos como *Applied Ergonomics*, *Sensors*, *Safety and Health at Work*, *Journal of Occupational Health*, *Workplace Health & Safety*, *Environmental Health*, *Cureus Journal of Medical Science*, *BMC Musculoskeletal Disorders*, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *JMIR Research Protocols*, *American Journal of Industrial Medicine*, *Electronics*, *Measurement: Sensors*, *Social Sciences – Basel*, entre outras.

Esta distribuição demonstra que, embora se observe um interesse crescente no tema, o campo de estudo ainda não se encontra consolidado em torno de uma linha

editorial unificada. A dispersão das publicações por revistas com diferentes escopos e áreas científicas revela que a investigação continua a emergir em múltiplos contextos disciplinares, refletindo simultaneamente o potencial de aplicação transversal das tecnologias *wearables* e os desafios inerentes à consolidação de um corpo teórico mais coeso.

A Tabela 3 apresenta uma sistematização das revistas científicas que acolheram os artigos incluídos na RSL e organiza as publicações de acordo com os periódicos de origem e o número de artigos validados em cada um, permitindo identificar a diversidade de fontes editoriais.

Tabela 3 - Revistas científicas que publicaram os artigos incluídos na RSL

Revista	Nº artigos
<i>Advanced Intelligent Systems</i>	1
<i>Ain Shams Engineering Journal</i>	1
<i>American Journal of Industrial Medicine</i>	1
<i>Applied Ergonomics</i>	1
<i>Applied Sciences-Basel</i>	1
<i>Applied System Innovation</i>	1
<i>Bioresources</i>	1
<i>BMC Musculoskeletal Disorders</i>	1
<i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>	1
<i>Cleaner Engineering and Technology</i>	1
<i>Cureus Journal of Medical Science</i>	1
<i>Electronics</i>	1
<i>Environmental Health</i>	1
<i>Industria Textila</i>	1
<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	3
<i>JMIR Public Health and Surveillance</i>	1
<i>JMIR Research Protocols</i>	1
<i>Journal of Family Medicine and Primary Care</i>	1
<i>Journal of Nursing Scholarship</i>	1
<i>Journal of Occupational Health</i>	1
<i>Journal of the Air & Waste Management Association</i>	1
<i>Measurement: Sensors</i>	1
<i>Palliative Care & Social Practice</i>	1
<i>Safety and Health at Work</i>	1
<i>Sage Open</i>	1
<i>Sensors</i>	1
<i>Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences-Sigma Muhendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi</i>	1
<i>Social Sciences-Basel</i>	1
<i>Theoretical Issues in Ergonomics Science</i>	1
<i>Workplace Health & Safety</i>	1

Editoras científicas

A análise das editoras responsáveis pela publicação dos artigos selecionados evidencia a diversidade de grupos editoriais envolvidos na disseminação científica sobre tecnologias *wearables* aplicadas à SST. A *Elsevier* destaca-se com o maior número de artigos publicados (10), refletindo a sua forte presença em revistas das áreas da engenharia, ergonomia e saúde. Seguem-se as editoras *Springer* e *Springer Nature* (6 artigos) e a *Wiley*, incluindo o grupo *Wiley-VCH* (4 artigos). A *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI), reconhecida pela sua aposta em revistas de acesso aberto, surge com 3 artigos incluídos na amostra.

Com 2 publicações cada, encontram-se as editoras *Taylor & Francis*, *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) e *IOP Publishing*. Já as editoras *Hindawi*, *SAGE Publications* e *Open Access Government* apresentam apenas um artigo publicado.

Estes resultados revelam uma cobertura editorial alargada e multidisciplinar, demonstrando que o interesse pela aplicação de tecnologias *wearables* em contexto laboral tem vindo a ser explorado por diferentes comunidades científicas, embora ainda de forma dispersa entre os vários grupos editoriais.

A tabela 4 apresenta a distribuição das editoras responsáveis pela publicação dos 32 artigos científicos incluídos na RSL. A análise permite identificar as editoras com maior representatividade na difusão de estudos sobre tecnologias *wearables* aplicadas à SST, destacando a predominância de editoras internacionais de grande impacto no meio académico.

Tabela 4 - Editoras

Editoras	Nº artigos
Elsevier	10
Springer / Springer Nature	6
Wiley / Wiley-VCH	4
MDPI	3
Taylor & Francis / Routledge	2
IEEE	2
IOP Publishing	2
Hindawi	1
SAGE Publications	1
Open Access Government	1

Palavras-chave mais frequentes

A análise das palavras-chave utilizadas nos 32 artigos incluídos na RSL permitiu identificar os conceitos mais representativos da investigação atual sobre tecnologias *wearables* aplicadas à SST. No total, foram extraídas 168 palavras-chave distintas, refletindo uma ampla diversidade de temas e abordagens.

As expressões mais recorrentes foram “*occupational health and safety*” (8 ocorrências, 4,8%), “*occupational health*” e “*workplace safety*” (7 ocorrências cada, 4,2%), e “*wearable technology*” (4 ocorrências, 2,4%). Também se destacaram, com duas ocorrências cada, termos como “*artificial intelligence*”, “*ergonomics*”, “*occupational safety*”, “*safety*”, “*safety climate*”, “*safety management*”, “*social compliance*” e “*training*”.

A restante lista é composta por termos que surgem apenas uma vez na amostra, mas que evidenciam a variedade temática dos estudos. Entre estes encontram-se expressões ligadas à tecnologia e análise de dados, como “*machine learning*”, “*predictive analytics*”, “*PROMETHEE*”, “*neural network*” e “*synthetic data*”; outras relacionadas com saúde e riscos, como “*occupational diseases*”, “*mental health*”, “*health risk assessment*” e “*respirable dust*”; e ainda referências a contextos ou setores específicos, como “*oil and gas industry*”, “*textile*”, “*airport cleaner*”, “*quarry workers*” ou “*readymade garment industry*”.

Esta diversidade semântica confirma o carácter multidisciplinar e transversal do campo em estudo, que envolve áreas como saúde pública, ergonomia, engenharia, inteligência artificial, gestão de risco e ciências sociais. A nuvem de palavras apresentada na Figura 3 sintetiza visualmente esta informação, permitindo identificar os termos com maior frequência e evidenciar os principais eixos temáticos da produção científica analisada.



Figura 3 - Nuvem de palavras

4.5. Sumarização da RSL

A RSL permitiu reunir e analisar criticamente 32 estudos empíricos publicados entre 2011 e 2025, centrados na aplicação de tecnologias *wearables* em contextos de SST. Os resultados foram organizados numa análise qualitativa e quantitativa, possibilitando a identificação dos contributos mais relevantes e das principais tendências de investigação neste domínio.

No plano qualitativo, a análise evidenciou a diversidade metodológica dos estudos, os diferentes tipos de dispositivos *wearables* utilizados e os contextos profissionais abrangidos. Observou-se uma predominância de estudos aplicados, com foco na monitorização fisiológica, na prevenção de riscos ergonómicos, na promoção de comportamentos seguros e na avaliação de condições ambientais em tempo real. Os principais objetivos dos estudos incluíram a melhoria da segurança no trabalho, a redução de acidentes e doenças ocupacionais, e a avaliação da eficácia dos dispositivos implementados. Apesar do seu potencial, os estudos analisados revelaram também várias limitações, tais como amostras reduzidas, restrições tecnológicas, dificuldades de implementação e barreiras organizacionais. Além disso, verifica-se que a maioria dos estudos apresenta uma duração limitada e amostras de pequena escala, muitas vezes centradas em pilotos ou estudos de caso isolados, o que dificulta a comparação entre investigações e compromete a generalização dos resultados a outros contextos laborais (Baklouti *et al.*, 2024; Ispășoiu *et al.*, 2024; Summers *et al.*, 2022; Monaco *et al.*, 2024). Estes constrangimentos são consistentes com as limitações metodológicas apontadas em vários estudos, frequentemente baseados em amostras pequenas, pilotos ou ambientes laboratoriais (Baklouti *et al.*, 2024; Ispășoiu *et al.*, 2024; Summers *et al.*, 2022; Monaco *et al.*, 2024).

No plano quantitativo, a análise complementou esta visão, evidenciando um aumento progressivo da produção científica a partir de 2021, com uma concentração geográfica em países como os Estados Unidos, Turquia e Índia. A produção encontra-se dispersa por diversas revistas científicas e editoras, refletindo o carácter multidisciplinar do tema. A análise das palavras-chave reforçou esta diversidade, com destaque para termos como “*occupational health and safety*”, “*wearable technology*” e “*workplace safety*”, entre outros associados à ergonomia, inteligência artificial e gestão do risco.

Em conjunto, os resultados evidenciam que o uso de tecnologias *wearables* em ambiente laboral é uma área emergente e em expansão, com múltiplas aplicações práticas e implicações teóricas. Contudo, também apontam para a necessidade de estudos mais robustos e consistentes que aprofundem a eficácia, a aceitabilidade e o impacto real destas tecnologias na SST. Tal necessidade é reforçada pelos próprios

autores, que salientam a ausência de validação em campo, a heterogeneidade metodológica e a escassez de estudos longitudinais (Aksüt *et al.*, 2024; Mahmood *et al.*, 2021; Vanderstichelen *et al.*, 2024; Touray *et al.*, 2024).

Para além desta visão descritiva, importa refletir criticamente sobre os padrões observados. A maioria dos estudos foi desenvolvido em setores como a saúde e a indústria transformadora, caracterizados por ambientes mais controlados e menor variabilidade operacional (Tırpan & Semiz, 2022; Svertoka *et al.*, 2021; Khakurel *et al.*, 2018).

Em contraste, setores de maior risco, como os transportes e a construção civil, onde a aplicação das tecnologias *wearables* poderia ter um impacto mais direto e urgente na prevenção de acidentes graves, estão significativamente sub-representados. Esta lacuna compromete a abrangência e aplicabilidade dos resultados, reforçando a necessidade de investigação mais robusta em contextos laborais de alto risco e elevada complexidade operacional (Aksüt *et al.*, 2024; Monaco *et al.*, 2024; Ispășoiu *et al.*, 2024).

Adicionalmente, embora tenham sido referidas as limitações dos artigos incluídos, é importante reconhecer as limitações do próprio processo de revisão. A opção por incluir apenas estudos em acesso aberto, publicados em inglês ou português, poderá ter excluído contributos relevantes noutras línguas ou em publicações de acesso restrito. Assim, os resultados desta RSL refletem uma amostra significativa, embora não exaustiva, da produção científica existente sobre tecnologias *wearables* aplicadas à SST.

As evidências sistematizadas nesta revisão servem de base para a discussão aprofundada que se segue no capítulo 5, a qual será estruturada com base nas quatro QI que orientaram este estudo.

5. Discussão dos Resultados

Este capítulo corresponde à quinta fase da investigação, a etapa de sumarização da RSL, dedicada à discussão dos resultados obtidos, com o objetivo de responder às quatro QI e destacar observações pertinentes.

5.1. QI1 – Prevenção de Acidentes e Doenças Profissionais

As tecnologias *wearables* têm demonstrado ser aliadas poderosas na promoção da SST, particularmente pela sua capacidade de recolher dados em tempo real e antecipar riscos laborais. Em ambientes de risco elevado, como fábricas e construção civil, os sensores portáteis têm sido utilizados para monitorizar variáveis fisiológicas, biomecânicas e ambientais, permitindo uma resposta imediata a condições adversas e,

assim, contribuindo para a prevenção de acidentes e doenças profissionais (Pereira *et al.*, 2024; Maksimović *et al.*, 2022).

O estudo de Baklouti *et al.* (2024) demonstrou como um sistema baseado em *Inertial Measurement Unit* (IMU) pode identificar, com precisão, posturas incorretas e movimentos repetitivos que estão na origem de DME. Esta avaliação contínua do risco ergonómico permite antecipar lesões e ajustar o posto de trabalho às necessidades do trabalhador.

De forma complementar, Ispășoiu *et al.* (2024) apresentaram um sistema de avaliação rápida de risco ergonómico, potenciado por algoritmos de IA, que permitiu desenvolver perfis individualizados de risco com base em dados fisiológicos recolhidos por sensores corporais. Esta abordagem reforça a prevenção personalizada e baseada em evidência.

No setor do mobiliário, Özdemir & Albayrak (2024) realizaram uma avaliação abrangente dos riscos ocultos, ruído, poeiras, conforto térmico e iluminação, alertando para a necessidade de monitorização contínua através de sensores ambientais integrados em dispositivos *wearables*, com vista à prevenção de doenças respiratórias e fadiga sensorial.

A aplicação de programas formativos digitais com recurso a tecnologias imersivas foi abordada por Monaco *et al.* (2024), no âmbito do projeto SCISSOR (*Smart Control of Industrial Safety and Sustainability Operations and Resources*). Através da RA e da RV, os autores propuseram uma abordagem inovadora para o controlo de riscos ocupacionais em ambientes expostos à radiação ionizante. Os resultados preliminares indicam que o uso de tecnologias de realidade estendida (RE) tem elevado potencial para aumentar a eficácia das formações em SST, tornando-as mais envolventes, adaptáveis e centradas no utilizador.

Em contexto hospitalar, Graeve *et al.* (2017) analisaram a exposição ocupacional a agentes antineoplásicos, evidenciando que a contaminação de superfícies e a utilização inadequada dos equipamentos de proteção individual (EPI) comprometem a segurança dos profissionais de saúde. Embora o estudo não proponha diretamente o uso de *wearables*, os dados sustentam a necessidade de soluções de monitorização contínua para mitigar riscos químicos invisíveis.

De forma complementar, Taskingul *et al.* (2024) analisaram as queixas de saúde, os riscos ocupacionais e as práticas de saúde em profissionais hospitalares, destacando a importância da monitorização contínua e da prevenção precoce em ambientes clínicos de elevada exigência. Os resultados evidenciam que os dispositivos *wearables* podem apoiar a deteção de riscos emergentes e reforçar a proteção dos profissionais de saúde.

Vlčková *et al.* (2017) salientaram que as obras de construção linear apresentam riscos elevados devido à mobilidade e imprevisibilidade do ambiente de trabalho. Os autores propuseram um sistema informatizado de apoio ao planeamento de medidas de segurança, que, embora não envolva diretamente *wearables*, abre espaço para a sua aplicação no mapeamento dinâmico de riscos.

Naji *et al.* (2024) destacaram que a eficácia preventiva destas tecnologias depende da confiança dos trabalhadores e da perceção de utilidade, reforçando a importância de comunicar benefícios e garantir a proteção dos dados recolhidos.

Aksüt *et al.* (2024) evidenciam, através de métodos multicritério, que dispositivos como capacetes inteligentes, sensores de vibração mão-braço (*Hand-Arm Vibration Syndrome* (HAVS)), coletes e pulseiras de fadiga apresentam elevado potencial preventivo em setores de risco, ao contribuírem para a redução de esforços físicos, a deteção precoce de fadiga e o reforço da vigilância ambiental. Numa perspetiva mais aplicada, Maksimović *et al.* (2022) desenvolveram sensores de extensão para monitorizar posturas de membros superiores, validando o seu contributo para a deteção antecipada de movimentos de risco ergonómico.

No mesmo sentido, Touray *et al.* (2024) estudaram trabalhadores de pedreiras na Gâmbia, identificando elevada prevalência de DME. A investigação sublinha que a utilização de tecnologias *wearables* para monitorizar posturas e cargas físicas pode constituir um contributo essencial para a prevenção destes problemas em ambientes de risco elevado.

Rajendran *et al.* (2021) destacam igualmente a utilidade de sensores fisiológicos e ambientais, como eletrocardiogramas (ECG), eletromiografia (EMG), sensores de gases ou de resposta galvânica da pele, na monitorização contínua de parâmetros críticos associados ao *stress*, à fadiga e à exposição a contaminantes, aspetos frequentemente negligenciados em avaliações tradicionais. Patel *et al.* (2022), por sua vez, sintetizam o panorama tecnológico de diferentes soluções conectadas, mostrando como *smart* EPI, *smartwatches* e exoesqueletos podem apoiar a ergonomia, a gestão da fadiga e a redução de lesões, consolidando evidência prática para múltiplos setores industriais.

Outros estudos reforçam ainda a dimensão inovadora destas soluções: Shah & Mishra (2024) salientam o contributo da IA aplicada a exoesqueletos, botas inteligentes e capacetes, permitindo a deteção em tempo real de riscos e a prevenção de doenças profissionais como a pneumoconiose. Summers *et al.* (2022) exploram o potencial da integração de fibras de carvão ativado em respiradores como uma solução *wearable* para proteção contra vapores orgânicos, apontando limitações, mas também perspetivas de evolução tecnológica nesta área. Finalmente, Jacobs *et al.* (2019) sublinham que a eficácia preventiva dos dispositivos *wearables* depende fortemente da

aceitação dos trabalhadores, a qual está associada à percepção de segurança, utilidade e envolvimento organizacional, demonstrando que a prevenção é tanto tecnológica quanto cultural.

Em conjunto, estes contributos alargam a visão sobre a aplicabilidade dos *wearables* na SST, revelando soluções diversificadas que vão desde sensores ergonómicos e fisiológicos até sistemas de proteção respiratória e exoesqueletos inteligentes, confirmando o seu papel como ferramentas-chave na antecipação e mitigação de riscos profissionais.

5.2. QI2 – Desafios e Limitações na Implementação

Apesar das tecnologias *wearables* oferecerem elevado potencial na prevenção de riscos e doenças profissionais, a sua implementação enfrenta diversos desafios técnicos, organizacionais, culturais e humanos, que condicionam a eficácia das soluções no terreno.

Um dos obstáculos mais recorrentes é a aceitação por parte dos trabalhadores. Naji *et al.* (2024) evidenciaram que a confiança nos dispositivos, o grau de familiaridade tecnológica e a percepção de utilidade influenciam diretamente a intenção de uso. Sem uma comunicação clara sobre a finalidade e os benefícios, estes dispositivos podem ser encarados como instrumentos de vigilância, gerando resistência e desconfiança. De forma convergente, Jacobs *et al.* (2019) sublinham que os custos e a percepção de intrusão podem agravar a rejeição, especialmente em pequenas e médias empresas.

A dimensão organizacional é igualmente crítica. O estudo de Falegnami *et al.* (2025), através da aplicação da *Resilience Analysis Grid* (RAG), mostrou que o sucesso da implementação está diretamente ligado à maturidade organizacional na capacidade de antecipar, monitorizar e adaptar-se aos riscos. Em contextos com baixa resiliência, a introdução destas tecnologias tende a ser superficial. Também Vanderstichelen *et al.* (2024) reforçam que, em ambientes com forte carga emocional, como os relacionados com doença, perda ou *stress* ocupacional, a tecnologia só é eficaz quando acompanhada de práticas organizacionais compassivas e de suporte humano.

A percepção subjetiva da segurança também se revela determinante. Ahamed *et al.* (2021) demonstraram que os trabalhadores que percecionam insegurança tendem a apresentar menor satisfação profissional e maior propensão ao abandono da função, mesmo sem ligação direta a *wearables*. Estes resultados sugerem que a eficácia de qualquer inovação tecnológica depende de uma cultura de confiança e de proteção percebida.

De forma complementar, Temur & Mertoglu (2022) analisaram a influência da conformidade social nas cadeias de fornecimento da indústria têxtil, destacando que

auditorias e práticas de responsabilidade social podem melhorar parcialmente a segurança no trabalho. No entanto, os autores sublinham que estas medidas tendem a limitar-se a aspetos facilmente auditáveis, deixando de fora dimensões mais profundas da cultura de segurança. Esta lacuna representa um desafio adicional para a adoção eficaz de tecnologias de prevenção, como os dispositivos *wearables*, uma vez que a segurança residual, não captada pelas auditorias, continua a depender da cultura organizacional e do envolvimento humano.

Do ponto de vista técnico, Özdemir & Albayrak (2024) alertam para a vulnerabilidade dos sensores em ambientes industriais hostis, onde poeiras, ruído e variações térmicas comprometem a durabilidade e a fiabilidade dos dispositivos. Patel *et al.* (2022) acrescentam que a adaptação ergonómica é essencial, dado que soluções generalistas podem comprometer a aceitação e a eficácia em setores específicos.

Outro entrave recorrente refere-se à interoperabilidade. Aksüt *et al.* (2024) identificaram que, frequentemente, os dados recolhidos não são totalmente aproveitados devido à fraca integração com sistemas digitais já existentes, gerando “silos de dados” que limitam o valor preventivo. No mesmo sentido, Ispășoiu *et al.* (2024) destacam a necessidade de alinhar os resultados de diagnóstico ergonómico com decisões de gestão, o que exige formação adequada e adaptação organizacional.

O fator formativo assume igualmente um papel fundamental, como demonstrado por Dalyan *et al.* (2024), que verificaram que o desempenho em segurança melhora substancialmente quando os trabalhadores recebem formação prática sobre os dispositivos. Contudo, a ausência de competências digitais básicas continua a ser um obstáculo, sobretudo em populações com baixa escolaridade.

Na mesma linha, Kara & Sönmez (2023) demonstraram, num estudo experimental com profissionais de saúde, que formações práticas estruturadas (*toolbox trainings*) reduzem erros e melhoram a qualidade dos cuidados, reforçando que a adoção de tecnologias *wearables* deve ser acompanhada de estratégias pedagógicas eficazes para potenciar resultados. De forma complementar, Lin *et al.* (2022) salientam a relevância de *Behavioral Skills Training* (BST) para capacitar profissionais em contextos de elevada exigência emocional, o que sugere que a integração de tecnologias digitais deve ser articulada com o desenvolvimento de competências comportamentais e relacionais.

No plano económico, Jacobs *et al.* (2019) e Mahmood *et al.* (2021) destacam que os custos de aquisição, manutenção e formação representam entraves significativos, sobretudo para organizações com recursos limitados. A necessidade de apoios públicos e políticas de incentivo é frequentemente referida como essencial para democratizar a adoção.

A pandemia de COVID-19 evidenciou, por sua vez, desafios adicionais. Liu *et al.* (2021) mostraram que trabalhadores de limpeza em aeroportos chineses estavam particularmente expostos, em grande parte devido à baixa literacia em saúde e à terceirização do trabalho. Estes dados revelam que, mesmo em contextos onde dispositivos *wearables* poderiam reforçar a proteção, a ausência de políticas eficazes e de estruturas organizacionais robustas reduz o impacto da tecnologia.

De forma semelhante, Guzman *et al.* (2022) analisaram a vulnerabilidade dos trabalhadores da indústria do petróleo e gás durante a pandemia de COVID-19, concluindo que a percepção sobre a cultura de saúde e segurança no trabalho foi um fator determinante para a segurança percebida. Estes resultados evidenciam que, em contextos de elevada pressão e incerteza, como crises sanitárias globais, a eficácia de qualquer medida preventiva, incluindo a eventual utilização de *wearables*, depende fortemente da confiança organizacional e da existência de práticas sólidas de SST.

Shah & Mishra (2024) sublinham que, sem salvaguardas de proteção de dados e consentimento, os trabalhadores podem ver os dispositivos *wearables* como mecanismos de controlo, o que mina a confiança. Jaramillo *et al.* (2021), no estudo sobre *Total Worker Health* (TWH) na agroindústria latino-americana, mostraram que diferenças culturais e estruturais entre países podem limitar a aplicabilidade universal dos dispositivos. É um bom reforço para a ideia de que não basta a tecnologia; os contextos importam.

De forma semelhante, Mahmood *et al.* (2021) salientam que, em setores de elevado risco como a indústria do vestuário no Bangladesh, a implementação de medidas de segurança só se torna efetiva quando suportada por políticas robustas, inspeções externas e colaboração institucional, como nos acordos internacionais firmados após o colapso do Rana Plaza¹. Estes resultados reforçam que a adoção de tecnologias *wearables* enfrenta limitações semelhantes: sem práticas organizacionais sólidas e estruturas de apoio, mesmo soluções avançadas correm o risco de se tornarem superficiais ou ineficazes.

Neste sentido, Harsini *et al.* (2021) identificaram, no setor petroquímico iraniano, que a adoção de comportamentos seguros depende não apenas da introdução de tecnologias, mas também de fatores culturais, motivacionais e estruturais. Os autores alertam que a ausência de coerência entre enquadramentos conceptuais e a realidade do terreno compromete a eficácia das estratégias de segurança, incluindo a implementação de *wearables*.

¹ O colapso do edifício Rana Plaza, ocorrido em 2013 no Bangladesh, resultou na morte de mais de 1100 trabalhadores do setor têxtil e desencadeou reformas internacionais em matéria de segurança e saúde no trabalho, incluindo auditorias obrigatórias e acordos de melhoria estrutural (Mahmood *et al.*, 2021).

Para além dos aspetos técnicos e organizacionais, a dimensão ética e legal assume um papel central. A utilização de dispositivos *wearables* em contexto laboral levanta questões críticas relacionadas com a privacidade dos dados pessoais, o consentimento informado dos trabalhadores e os limites da monitorização em ambiente de trabalho. A ausência de garantias nestas áreas pode transformar estas tecnologias em instrumentos de vigilância, comprometendo direitos fundamentais e aumentando a resistência à sua adoção (Jacobs *et al.*, 2019; Naji *et al.*, 2024; Shah & Mishra, 2024). No espaço europeu, estas preocupações ganham especial relevância no quadro do RGPD (Regulamento (UE) 2016/679), que impõe normas rigorosas quanto à recolha, processamento, armazenamento e partilha de dados sensíveis. Neste sentido, organismos como a EU-OSHA têm sublinhado que a digitalização do trabalho deve ser acompanhada de salvaguardas éticas e legais robustas. Assim, a implementação ética de tecnologias *wearables* requer não apenas proteção tecnológica, mas também políticas organizacionais claras, mecanismos de consentimento transparente e uma supervisão contínua que assegure a conformidade legal e a confiança dos trabalhadores (Jaramillo *et al.*, 2021; Nkrumah *et al.*, 2021). A aceitação e eficácia das soluções dependem de enquadramentos éticos e legais sólidos, que assegurem que os dispositivos *wearables* são utilizados como instrumentos de proteção e não de vigilância laboral (Aksüt *et al.*, 2024; Jacobs *et al.*, 2019; Monaco *et al.*, 2023).

Em suma, a implementação eficaz de tecnologias *wearables* exige mais do que soluções técnicas avançadas. Implica o alinhamento entre tecnologia, cultura organizacional, liderança, formação, sustentabilidade económica e confiança humana. Sem esta abordagem holística e participativa, os dispositivos correm o risco de se tornar ferramentas subutilizadas ou mesmo rejeitadas pelas equipas que mais poderiam beneficiar da sua aplicação (Naji *et al.*, 2024; Falegnami *et al.*, 2024).

5.3. QI3 – Métricas e indicadores de eficácia

A avaliação da eficácia das tecnologias *wearables* na monitorização da SST requer o uso de métricas claras, rigorosas e adaptáveis aos contextos reais de trabalho. A literatura analisada revela uma tendência para a combinação de indicadores quantitativos, qualitativos e organizacionais, permitindo uma análise abrangente do impacto destes dispositivos (Aksüt *et al.*, 2024; Ispășoiu *et al.*, 2024; Shah *et al.*, 2024; Monaco *et al.*, 2023).

No domínio da ergonomia, Baklouti *et al.* (2024) demonstraram a eficácia da utilização de sistemas baseados em IMU para avaliar posturas de risco e movimentos repetitivos em tempo real, permitindo calcular o grau de exposição ergonómica e antecipar DME. Complementarmente, Ispășoiu *et al.* (2024) propuseram a integração

de algoritmos de IA em metodologias rápidas de avaliação de risco, criando perfis individualizados a partir da análise contínua de dados fisiológicos e ambientais recolhidos por sensores corporais. Esta abordagem permite antecipar padrões críticos e atuar preventivamente com maior precisão.

No plano psicossocial, Vanderstichelen *et al.* (2024) salientaram a importância de incorporar indicadores de bem-estar emocional, percepção de segurança e impacto do *stress* no trabalho, reforçando que a saúde mental é indissociável da segurança laboral. Os dispositivos que monitorizam sinais fisiológicos, como a frequência cardíaca e a temperatura corporal, podem contribuir para a deteção precoce de fadiga e sobrecarga emocional.

Os indicadores ambientais também se destacam. Özdemir & Albayrak (2024) utilizaram sensores em ambientes industriais para monitorizar variáveis como ruído, iluminação, poeiras e conforto térmico, propondo métricas contínuas de risco ambiental que permitem ajustes operacionais em tempo real.

A nível organizacional, Falegnami *et al.* (2025) aplicaram a RAG, combinada com a Escala de Rasch, para avaliar a resiliência organizacional. Através desta metodologia, propuseram indicadores que medem a capacidade das empresas para antecipar, monitorizar e adaptar-se aos riscos ocupacionais com base em dados recolhidos por tecnologias *wearables*. Aksüt *et al.* (2024) reforçaram esta perspetiva ao salientar a utilidade de metodologias multicritério, como o PROMETHEE, na construção de indicadores compostos que agregam aspetos como a redução de acidentes, o conforto postural, a aceitação tecnológica e o impacto na produtividade.

McLeod *et al.* (2023), embora não recorram diretamente a tecnologias *wearables*, analisaram o impacto das inspeções regulatórias em empresas dos setores da construção, indústria e transportes, no Canadá. Os resultados mostraram que apenas no setor dos transportes houve redução significativa das taxas de acidentes (28% no segundo ano pós-inspeção), enquanto na construção se verificou até um aumento inicial de 12% e na indústria não se registaram efeitos. Estes dados evidenciam a complexidade de medir a eficácia das intervenções preventivas e reforçam a necessidade de indicadores mais dinâmicos e contínuos. Neste sentido, as tecnologias *wearables*, ao fornecerem dados em tempo real e monitorização personalizada, podem complementar ou superar algumas das limitações associadas a medidas regulatórias tradicionais.

Caban-Martinez *et al.* (2011) acrescentaram que a eficácia técnica das soluções só se concretiza quando as métricas incluem a aceitação dos trabalhadores e a simplicidade de utilização dos dispositivos, aspetos determinantes para a sua integração no quotidiano laboral. Da mesma forma, Jacobs *et al.* (2019) sublinharam a importância

de indicadores ligados à percepção de utilidade, facilidade de uso e intenção de continuidade, que influenciam diretamente a adesão às soluções *wearables*.

Alguns dos estudos incluídos quantificaram de forma mais detalhada a aceitação dos trabalhadores perante os dispositivos. Jacobs *et al.* (2019), através da aplicação do *Technology Acceptance Model* (TAM), mostraram que a percepção de utilidade e a facilidade de uso explicavam mais de metade da variabilidade da intenção de adoção dos *wearables*, enquanto a percepção de intrusão reduzia significativamente essa intenção. Naji *et al.* (2024) reforçaram que a confiança nos dispositivos é um preditor direto da aceitação, demonstrando que trabalhadores que percecionavam maior transparência e fiabilidade nos dados apresentavam níveis mais elevados de adesão. Shah & Mishra (2024) acrescentaram que a ausência de salvaguardas éticas, nomeadamente no tratamento de dados pessoais, foi apontada como motivo frequente de rejeição, evidenciando que a eficácia das métricas não pode ser dissociada de questões éticas e legais. Estes resultados demonstram que, para além de indicadores técnicos, a aceitação dos trabalhadores e a proteção da sua privacidade são elementos mensuráveis e decisivos para avaliar a eficácia das tecnologias *wearables*.

Assim, enquanto os estudos de natureza mais tecnológica (Baklouti *et al.*, 2024; Ispășoiu *et al.*, 2024; Özdemir & Albayrak, 2024) demonstram a capacidade dos *wearables* em quantificar parâmetros físicos e ambientais de risco, os trabalhos de carácter mais organizacional e psicossocial (Jacobs *et al.*, 2019; Vanderstichelen *et al.*, 2024; Caban-Martinez *et al.*, 2011) reforçam que a eficácia destas métricas depende também da percepção de utilidade, da aceitação pelos trabalhadores e da integração em práticas de gestão participativas. Esta complementaridade mostra que, sem indicadores de confiança, motivação e bem-estar, mesmo os dados fisiológicos mais rigorosos podem perder relevância na prática.

Em síntese, a avaliação da eficácia das tecnologias *wearables* exige um conjunto integrado de métricas que contemplem variáveis físicas, ambientais, ergonómicas, psicossociais e organizacionais. Apenas através de uma abordagem sistemática e multidimensional será possível aferir o verdadeiro impacto destas soluções na promoção de ambientes laborais mais seguros, saudáveis e resilientes (Baklouti *et al.*, 2024; Ispășoiu *et al.*, 2024; Falegnami *et al.*, 2025; Aksüt *et al.*, 2024; McLeod *et al.*, 2024; Jacobs *et al.*, 2019; Caban-Martinez *et al.*, 2011).

5.4. QI4 – Impacto no desempenho dos trabalhadores e na eficiência operacional

Para além da prevenção de riscos e da monitorização da saúde, as tecnologias *wearables* têm vindo a demonstrar efeitos relevantes no desempenho dos trabalhadores

e na eficiência das operações organizacionais. A literatura analisada revela que estes dispositivos contribuem para a melhoria do foco, da autonomia, da produtividade e da tomada de decisão, desde que integrados de forma sensível às realidades do contexto de trabalho (Jacobs *et al.*, 2019; Dalyan *et al.*, 2024).

Dalyan *et al.* (2024) mostraram que os trabalhadores que utilizam tecnologias *wearables* associadas a formações práticas demonstram comportamentos de segurança mais consistentes, o que se traduz em menor número de incidentes, maior confiança e maior eficácia na execução das tarefas. Esta relação entre formação e tecnologia revela-se fundamental para maximizar os benefícios operacionais.

No estudo de Ispășoiu *et al.* (2024), a aplicação de sensores corporais aliados a algoritmos de IA permitiu adaptar o posto de trabalho às necessidades fisiológicas do trabalhador, reduzindo a fadiga e aumentando a precisão na realização de tarefas repetitivas. O foco na personalização do ambiente laboral mostra-se eficaz na promoção de desempenho sustentável.

Jacobs *et al.* (2019) destacaram ainda que a perceção de utilidade e facilidade de uso das tecnologias *wearables* influencia diretamente a produtividade. Quando os dispositivos são intuitivos, leves e integrados sem interferir com o ritmo natural do trabalho, o seu impacto tende a ser positivo. Por outro lado, quando são intrusivos ou desconfortáveis, podem gerar distrações, redução de desempenho ou até rejeição.

No setor industrial, Özdemir & Albayrak (2024) observaram que a utilização de sensores ambientais contribuiu para a adaptação de ritmos de produção às condições de trabalho reais, otimizando o rendimento e prevenindo sobrecargas físicas. A monitorização contínua de variáveis como ruído, calor e poeiras possibilitou ajustes em tempo real, com impacto direto na eficiência dos processos.

Exemplos concretos de aplicação prática em ambiente industrial incluem os exoesqueletos, concebidos para reduzir a carga física suportada pelos trabalhadores e prevenir DME. Patel *et al.* (2022) descrevem a utilização destes dispositivos em contexto fabril, com o objetivo de apoiar tarefas realizadas acima da linha dos ombros, redistribuindo o peso dos braços para zonas corporais de maior suporte, como os quadris e coxas. Esta funcionalidade contribui para a redução da fadiga e do risco de lesões durante atividades repetitivas ou exigentes. Outros modelos possibilitam a adoção de posturas mais ergonómicas durante o trabalho em pé, através de sistemas de apoio dinâmico, ou aumentam a força física do utilizador, sendo indicados para tarefas de levantamento de carga em setores como a construção ou a indústria aeronáutica.

Aksüt *et al.* (2024) reforçaram este aspeto ao aplicar a metodologia PROMETHEE, que demonstrou que os dispositivos *wearables* contribuem simultaneamente para a

redução de acidentes, a melhoria do conforto postural e o aumento da produtividade, quando bem integrados em estratégias organizacionais.

No mesmo sentido, Mohammadi *et al.* (2024) desenvolveram uma ferramenta de avaliação de protocolos de nanossegrurança, que, embora aplicada a um contexto específico, demonstrou a relevância de métricas comparativas e padronizadas para identificar áreas de melhoria. Esta abordagem pode ser adaptada para os dispositivos *wearables*, reforçando a necessidade de indicadores uniformes que sustentem a tomada de decisão organizacional.

Em contexto de elevada exigência emocional, como na prestação de cuidados de saúde ou em situações de luto, Vanderstichelen *et al.* (2024) sublinham a importância de uma abordagem compassiva. A introdução de tecnologias deve considerar o impacto emocional no desempenho dos profissionais, sendo mais eficaz quando acompanhada de práticas de suporte humano.

McLeod *et al.* (2023) reforçam esta perspectiva ao demonstrarem que programas que integram tecnologias digitais com políticas de saúde ocupacional baseadas em evidência contribuem não só para a redução de lesões como também para ganhos mensuráveis em produtividade. A análise dos autores evidenciou que a monitorização digital do bem-estar pode apoiar decisões organizacionais mais informadas, com impactos positivos tanto ao nível da gestão como da performance individual.

A perceção de segurança no trabalho assume um papel crítico no desempenho e estabilidade das equipas. Segundo Ahamed *et al.* (2021), trabalhadores que não se sentem seguros demonstram menor satisfação e maior propensão ao abandono da profissão, o que compromete a continuidade operacional e a eficiência organizacional. Embora o estudo não envolva tecnologias *wearables*, os seus resultados ilustram a importância de criar ambientes onde o bem-estar e a segurança subjetiva sejam também prioridades estratégicas, complementares à implementação de soluções tecnológicas.

Em suma, os dispositivos *wearables* têm o potencial de melhorar significativamente o desempenho individual e coletivo, desde que a sua implementação seja acompanhada de formação adequada, adaptação ergonómica, integração com os processos de trabalho e atenção ao bem-estar global dos colaboradores. O seu impacto positivo depende, em grande medida, da forma como são introduzidos, utilizados e aceites no seio das organizações (Ispășoiu *et al.*, 2024; McLeod *et al.*, 2024).

Para além dos exemplos apresentados, importa destacar que a literatura inclui contributos complementares, como revisões de dispositivos, abordagens para monitorização da fadiga e estudos sobre aceitação e uso que contextualizam a aplicabilidade e a adoção das tecnologias *wearables* em SST. A Tabela 5 sintetiza estes contributos.

Tabela 5 - Exemplos adicionais de dispositivos wearables com aplicação em SST

Nº	Autores	Crítérios	Descrição
1	Khakurel <i>et al.</i> (2018)	Categoria/Tipo	Revisão abrangente de dispositivos <i>wearables</i> aplicados ao contexto laboral.
		Descrição	Síntese de tecnologias emergentes com potencial para monitorização em tempo real.
		Exemplos comerciais	Pulseiras inteligentes; EPI inteligentes; sensores de fadiga.
		Aplicações na SST	Prevenção de fadiga; monitorização fisiológica e ambiental; apoio à produtividade.
2	Martins <i>et al.</i> (2021)	Categoria/Tipo	Dispositivos para monitorização da fadiga.
		Descrição	<i>Wearables</i> destinados à avaliação da fadiga fisiológica através de sensores e algoritmos.
		Exemplos comerciais	<i>Smartwatches</i> ; sensores cardíacos; bandas respiratórias.
		Aplicações na SST	Prevenção da fadiga; monitorização de esforço; suporte à gestão do tempo de trabalho.
3	Mendes (2023)	Categoria/Tipo	<i>Smartwatches</i> e dispositivos de consumo (aceitação/uso).
		Descrição	Estudo sobre motivação, aceitação e uso quotidiano de <i>wearables</i> em contexto português.
		Exemplos comerciais	Apple <i>Watch</i> ; Samsung Galaxy <i>Watch</i> ; Fitbit.
		Aplicações na SST	Indicadores de adesão e continuidade de uso em contexto laboral.

A Tabela 6 reúne os dispositivos *wearables* identificados nos estudos incluídos na RSL, apresentando a sua tipologia, aplicações e contributos potenciais para a prevenção em SST, bem como exemplos emergentes e protótipos identificados pontualmente na literatura, que demonstram tratar-se de um campo em permanente inovação.

Tabela 6 - Dispositivos wearables identificados na RSL

Nº	Autores	Crítérios	Descrição
1	Aksüt <i>et al.</i> (2024)	Categoria/Tipo	Portefólio de <i>wearables</i> (coletes, capacetes, sensores HAVS, pulseiras de fadiga, óculos, câmaras corporais).
		Descrição	Avaliação multicritério (AHP, PROMETHEE) da eficácia e prioridade dos dispositivos.

		Exemplos comerciais	<i>Life Band; smart helmets/vests; smart glasses.</i>
		Aplicações na SST	Redução de riscos; conforto postural; aumento da produtividade.
2	Baklouti <i>et al.</i> (2024)	Categoria/Tipo	IMU (sensores inerciais).
		Descrição	Sensores aplicados ao corpo para análise postural em tempo real.
		Exemplos comerciais	<i>Xsens; Noraxon.</i>
		Aplicações na SST	Avaliação ergonómica; deteção de posturas de risco; prevenção de DME.
3	Caban-Martinez <i>et al.</i> (2011)	Categoria/Tipo	<i>Handhelds (pré-wearables).</i>
		Descrição	Dispositivos portáteis para recolha de dados de saúde laboral em campo.
		Exemplos comerciais	<i>Palm Pilot; Personal Digital Assistant (PDA)</i>
		Aplicações na SST	Recolha rápida e fiável de dados; elevada aceitação pelos trabalhadores.
4	Ispășoiu <i>et al.</i> (2024)	Categoria/Tipo	Sistema RERA (IA integrada com sensores corporais).
		Descrição	Metodologia rápida de avaliação de riscos ergonómicos suportada por algoritmos de IA.
		Exemplos comerciais	Protótipo experimental.
		Aplicações na SST	Monitorização de postura, ruído e temperatura; recomendações preventivas.
5	Jacobs <i>et al.</i> (2019)	Categoria/Tipo	Aceitação de <i>wearables</i> pelos trabalhadores.
		Descrição	Relação entre perceção de segurança/benefício e intenção de uso.
		Exemplos comerciais	<i>Fitbit; Apple Watch;</i> sensores ambientais.
		Aplicações na SST	Adoção tecnológica associada à segurança percebida, produtividade e bem-estar.
6	Maksimović <i>et al.</i> (2022)	Categoria/Tipo	Sensores de extensão.
		Descrição	Sistema aplicado aos membros superiores para monitorizar posturas e movimentos.
		Exemplos comerciais	Protótipo experimental.
		Aplicações na SST	Deteção precoce de posturas de risco nos membros superiores.
7		Categoria/Tipo	RE com sensores corporais.

	Monaco <i>et al.</i> (2025)	Descrição	Treino em realidade mista com sensores na cabeça, mãos, peito e pélvis (Projeto SCISSOR).
		Exemplos comerciais	Setup de treino SCISSOR.
		Aplicações na SST	Formação em segurança; percepção de risco (radiação ionizante).
8	Özdemir & Albayrak (2024)	Categoria/Tipo	Monitorização ambiental
		Descrição	Monitorização de ruído, poeiras, temperatura e iluminação em ambiente industrial.
		Exemplos comerciais	Sonómetro; luxímetro; termohigrómetro; amostradores de poeiras.
		Aplicações na SST	Avaliação ambiental contínua em contexto industrial.
9	Patel <i>et al.</i> (2022)	Categoria/Tipo	Revisão tecnológica (EPI inteligentes, biométricos, exosqueletos, <i>smartglasses</i>).
		Descrição	Panorama de soluções conectadas aplicadas ao trabalhador.
		Exemplos comerciais	<i>Fitbit; Garmin; HoloLens; Smart PPEs.</i>
		Aplicações na SST	Ergonomia; gestão da fadiga; supervisão remota; produtividade.
10	Rajendran <i>et al.</i> (2021)	Categoria/Tipo	Sensores fisiológicos e ambientais (ECG, EMG, movimento, gases, humidade, temperatura).
		Descrição	Sistema integrado para monitorização simultânea de parâmetros fisiológicos e ambientais.
		Exemplos comerciais	Protótipos diversos.
		Aplicações na SST	Deteção de stress, fadiga, exposição a contaminantes e sobrecarga fisiológica.
11	Summers <i>et al.</i> (2022)	Categoria/Tipo	Respiradores com fibras de carvão ativado (<i>Activated Carbon Fiber (ACF)</i>).
		Descrição	Integração de ACF em respiradores N95 para retenção de vapores orgânicos.
		Exemplos comerciais	Respiradores experimentais com ACF.
		Aplicações na SST	Proteção respiratória (potencial <i>wearable</i>).

Os resultados da RSL permitem concluir que os dispositivos *wearables* contribuem não apenas para a prevenção de riscos (Q11), mas também para a melhoria do desempenho e da eficiência operacional (Q14), sendo a sua eficácia condicionada pelos desafios de implementação (Q12) e pela definição de métricas de avaliação adequadas (Q13). Esta interdependência confirma a necessidade de uma abordagem integrada que considere simultaneamente fatores técnicos, organizacionais, humanos e contextuais, preparando o terreno para a análise transversal das quatro QI no subcapítulo seguinte.

5.5. Relação entre as QI

A análise das quatro QI (Q11 a Q14) permite construir uma visão integrada sobre o impacto das tecnologias *wearables* na monitorização da SST. Mais do que contributos isolados, emerge um quadro em que os benefícios, os desafios, as métricas e os impactos no desempenho se entrelaçam, revelando dependências e sinergias que condicionam a adoção e a eficácia destas soluções em contexto laboral.

No que respeita à relação entre os benefícios preventivos das tecnologias *wearables* (Q11) e os desafios de implementação (Q12), observa-se que o potencial para prevenir acidentes e doenças profissionais só se concretiza quando superados obstáculos técnicos, humanos e organizacionais. Limitações como a resistência dos trabalhadores, a falta de formação digital, os custos e a fragilidade técnica dos dispositivos condicionam diretamente a capacidade preventiva, diminuindo a sua aplicabilidade em setores de risco elevado.

De forma complementar, os desafios de implementação identificados na Q12 comprometem igualmente a recolha e utilização eficaz de métricas (Q13). A aceitação limitada, a ausência de interoperabilidade com sistemas digitais existentes e a falta de alinhamento organizacional reduzem a fiabilidade e a utilização prática dos indicadores recolhidos. Assim, mesmo quando os dispositivos *wearables* oferecem dados ricos e em tempo real, estes podem ser subaproveitados se não forem acompanhados de integração tecnológica, formação adequada e confiança por parte dos utilizadores.

A análise mostra ainda que as métricas de eficácia (Q13) não captam apenas dimensões técnicas e fisiológicas, mas também precisam de refletir fatores psicossociais e organizacionais, como salientado na Q14. O bem-estar emocional, a perceção de segurança e a motivação laboral influenciam a segurança tanto quanto os dados de postura, fadiga ou exposição ambiental. Esta ligação evidencia a necessidade de indicadores mais abrangentes, que conjuguem variáveis objetivas e subjetivas na avaliação da eficácia dos dispositivos *wearables*.

Por sua vez, o desempenho e a aceitação dos dispositivos (Q14) retroalimentam a eficácia preventiva (Q11). Quando os trabalhadores percecionam utilidade, simplicidade

e respeito pela sua privacidade, a adesão aumenta, potenciando a capacidade dos dispositivos para prevenir riscos. Em contrapartida, experiências negativas ou perceções de intrusão reduzem a confiança e podem comprometer a eficácia global, mesmo que os dispositivos sejam tecnicamente avançados.

Esta leitura integrada revela aspetos que não seriam visíveis numa análise isolada de cada QI. Observam-se interdependências claras: benefícios preventivos dependem da aceitação; métricas robustas dependem da integração organizacional; impactos positivos dependem da proteção de dados e da confiança. Revelam-se também lacunas, como a ausência de replicação consistente em setores de maior risco (construção, transportes) e a dificuldade em traduzir indicadores técnicos em mudanças organizacionais sustentáveis.

As implicações desta interdependência apontam para a necessidade de uma abordagem multidisciplinar e estratégica na adoção de tecnologias *wearables* em SST. A implementação eficaz exige não apenas inovação técnica, mas também políticas de proteção de dados robustas, práticas de liderança participativa, programas de formação inclusivos e modelos organizacionais capazes de integrar e valorizar os dados recolhidos. Só assim será possível maximizar o impacto preventivo dos dispositivos *wearables* e assegurar que estes dispositivos contribuem para ambientes de trabalho mais seguros, saudáveis e resilientes.

6. Considerações Finais

O presente capítulo apresenta as considerações finais da dissertação, organizando de forma sintética os principais resultados obtidos a partir da revisão sistemática da literatura e da análise realizada. São também discutidas as limitações identificadas ao longo do estudo e delineadas propostas para futuras investigações e aplicações práticas neste domínio.

6.1. Conclusões

A crescente digitalização dos ambientes laborais tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de tecnologias inovadoras para promover condições de trabalho mais seguras, eficientes e saudáveis. Neste contexto, as tecnologias *wearables* emergem como ferramentas relevantes no domínio da SST, permitindo uma monitorização próxima e contínua dos riscos associados à atividade profissional.

O presente estudo teve como objetivo compreender de que forma estas tecnologias contribuem para a monitorização da SST, com especial destaque para a prevenção de riscos, os desafios associados à sua implementação, as métricas utilizadas na avaliação

da sua eficácia e o impacto no desempenho operacional dos trabalhadores. Para tal, foi realizada uma RSL, baseada em 32 artigos científicos, que possibilitou reunir e analisar criticamente os principais contributos da investigação recente neste domínio.

No que respeita à prevenção de acidentes e doenças profissionais, conclui-se que as tecnologias *wearables* têm potencial para antecipar riscos de natureza ergonómica, fisiológica e ambiental, proporcionando uma atuação mais proativa em contextos laborais exigentes. A recolha de dados em tempo real e a capacidade de gerar alertas automatizados permitem identificar comportamentos de risco e adaptar as condições de trabalho às necessidades dos trabalhadores.

Relativamente à implementação destas tecnologias, foram identificadas diversas limitações que dificultam a sua adoção plena, nomeadamente questões relacionadas com a aceitação por parte dos utilizadores, a usabilidade dos dispositivos, os custos de aquisição e manutenção, a robustez técnica e a integração com os sistemas organizacionais existentes. A superação destes obstáculos exige uma abordagem integrada que envolva todos os intervenientes na organização e promova a literacia tecnológica no local de trabalho.

Ao nível das métricas de avaliação, verificou-se uma tendência para a utilização combinada de indicadores físicos, ambientais, ergonómicos, psicossociais e organizacionais, refletindo a complexidade da monitorização em contexto real. A adoção de metodologias quantitativas e qualitativas, aliadas a ferramentas de análise avançada, tem permitido construir modelos de avaliação mais completos e personalizados, ajustados às especificidades de cada função e setor.

Quanto ao impacto no desempenho operacional, identificou-se uma correlação positiva entre a utilização de tecnologias *wearables* e a melhoria da produtividade, da ergonomia e da eficiência dos processos. A monitorização contínua do estado físico e mental dos trabalhadores, bem como das condições ambientais, contribui para uma gestão mais informada e adaptativa, orientada para o bem-estar, a resiliência e a sustentabilidade das organizações.

Apesar do rigor metodológico adotado, este estudo apresenta algumas limitações, nomeadamente a delimitação às publicações de acesso aberto em português e inglês, o que poderá ter excluído contributos relevantes. Acresce a diversidade dos contextos, metodologias e tecnologias analisadas que, embora enriqueçam a discussão, dificultam a uniformização de critérios e a generalização dos resultados.

Em síntese, os resultados desta revisão sistemática demonstram que as tecnologias *wearables* constituem um recurso promissor para a gestão da SST, com capacidade de transformar práticas preventivas, otimizar o desempenho das organizações e reforçar a capacidade de adaptação organizacional a ambientes de risco. A sua eficácia, contudo,

depende da aceitação por parte dos utilizadores, da integração nos sistemas existentes e da adequação às realidades específicas de cada setor. O aprofundamento da investigação e o desenvolvimento de soluções mais acessíveis, fiáveis e eticamente sustentáveis serão determinantes para consolidar o papel destas tecnologias na construção de ambientes de trabalho mais seguros, saudáveis e inteligentes.

Para além destas conclusões específicas, a leitura transversal das quatro QI (QI1–QI4) evidenciou que os benefícios preventivos das tecnologias *wearables* só se concretizam plenamente quando superados os desafios técnicos e organizacionais da sua implementação, que a aceitação e a confiança dos trabalhadores influenciam diretamente a qualidade e a utilização das métricas de eficácia, e que os impactos no desempenho e bem-estar retroalimentam a capacidade preventiva. Esta análise integrada demonstra que fatores técnicos, humanos e organizacionais estão profundamente interligados, reforçando a necessidade de uma abordagem multidisciplinar e estratégica para a adoção futura dos *wearables* em SST.

6.2. Limitações do Estudo

Apesar do rigor metodológico adotado na condução da presente RSL, importa reconhecer um conjunto de limitações que poderão ter influenciado os resultados obtidos e a sua generalização.

Em primeiro lugar, a pesquisa foi limitada a artigos em acesso aberto, o que, embora tenha assegurado transparência e reprodutibilidade, restringiu a amplitude da amostra e poderá ter excluído publicações de elevado impacto em revistas de acesso condicionado.

Adicionalmente, optou-se por não incluir literatura cinzenta, como relatórios técnicos, normas, diretrizes institucionais ou documentos de organismos internacionais. Esta exclusão pode ter limitado a integração de contributos práticos e contextuais relevantes para o campo da SST.

A análise incidu apenas em publicações redigidas em português e inglês, de forma a garantir rigor crítico na interpretação dos conteúdos, mas esta decisão pode ter excluído estudos significativos em outras línguas. Do mesmo modo, a delimitação temporal até ao primeiro trimestre de 2025 assegurou atualidade à revisão, mas implicou a exclusão de estudos ainda em fase de publicação ou indexação.

Embora tenham sido definidos critérios de inclusão e exclusão objetivos, e utilizada uma grelha de extração de dados para uniformizar a análise, a seleção manual dos estudos pode ter introduzido viés de interpretação.

Finalmente, a heterogeneidade metodológica e contextual dos artigos incluídos inviabilizou a realização de uma meta-análise estatística. A diversidade de contextos

laborais, metodologias, tecnologias e indicadores analisados dificultou a comparação direta dos resultados e a definição de padrões consistentes entre os diferentes estudos.

Importa ainda referir que, embora alguns estudos incluídos façam referência à aceitação e à confiança dos trabalhadores, a maioria não abordou de forma sistemática as dimensões éticas associadas à utilização de dispositivos *wearables*, nomeadamente no que respeita à privacidade dos dados, ao consentimento informado e ao risco de vigilância excessiva. Esta lacuna limita a avaliação crítica da aplicabilidade prática destas tecnologias em contexto laboral e evidencia a necessidade de investigações futuras que integrem estas preocupações éticas de forma mais explícita.

Estas limitações devem ser consideradas na leitura dos resultados e reforçam a necessidade de investigações futuras que complementem esta revisão com abordagens empíricas, metodologias comparativas mais homogéneas e estratégias que permitam superar as restrições identificadas.

6.3. Proposta de Trabalhos Futuros

Tendo em conta os resultados obtidos e as limitações identificadas, considera-se pertinente que futuras investigações aprofundem o estudo da aplicação de tecnologias *wearables* em SST através de abordagens complementares. Uma linha de desenvolvimento relevante passa pela realização de estudos de caso em contextos industriais reais, que poderão oferecer uma compreensão mais concreta dos desafios práticos e das dinâmicas organizacionais envolvidas na adoção destas tecnologias.

Em paralelo, análises comparativas entre diferentes tipos de dispositivos *wearables* e em distintos setores de atividade permitiriam aferir a sua eficácia relativa e a adequação às exigências específicas de cada contexto. Para além disso, estudos com carácter longitudinal seriam igualmente importantes para avaliar o impacto sustentado destes dispositivos no desempenho, na saúde dos trabalhadores e na cultura organizacional ao longo do tempo, indo além da visão de curto prazo que predomina em muitas investigações atuais.

Outro eixo prioritário de investigação diz respeito à dimensão ética. Para além das questões técnicas e operacionais, torna-se essencial aprofundar a reflexão em torno da privacidade dos dados recolhidos, do consentimento informado e do equilíbrio entre monitorização e confiança. Neste sentido, é urgente desenvolver quadros normativos e orientações específicas que regulem a utilização destas tecnologias em ambiente laboral, de forma a assegurar a proteção dos trabalhadores e a aceitação social das soluções implementadas.

Importa ainda reforçar a investigação em contexto nacional. Embora em Portugal já existam exemplos relevantes, como os projetos desenvolvidos na Autoeuropa, na EDP

ou em parceria com centros de investigação como o INESC TEC, a disseminação destes casos continua limitada. Projetos-piloto aplicados em setores estratégicos, como a indústria, a construção civil e a saúde, poderiam contribuir para validar a aplicabilidade das tecnologias *wearables* no tecido empresarial português, bem como para apoiar políticas públicas de prevenção mais alinhadas com a realidade laboral do país.

Por fim, a incorporação de metodologias qualitativas, centradas na perceção dos trabalhadores, poderá oferecer uma perspetiva mais profunda sobre a aceitação, o envolvimento e o impacto subjetivo dos dispositivos no quotidiano profissional. Este tipo de abordagem permitiria complementar os dados quantitativos com evidências humanas e contextuais, contribuindo para uma aplicação mais participativa e eficaz das soluções tecnológicas.

Em conclusão, este estudo contribui para consolidar o conhecimento existente sobre o papel das tecnologias *wearables* na promoção da SST, sistematizando evidência científica recente e identificando caminhos para investigação e prática futura. Numa era marcada pela transformação digital, a integração responsável destas tecnologias poderá constituir uma alavanca estratégica para ambientes de trabalho mais seguros, humanos e sustentáveis. O aprofundamento deste campo exige, por isso, uma abordagem multidisciplinar e aplicada, capaz de articular inovação tecnológica com bem-estar laboral, responsabilidade organizacional e salvaguardas éticas.

Bibliografia

Ahamed, F., Kaur, A., Sengupta, P., & Ghosh, T. (2021). *Perception of safety from workplace violence affects job satisfaction among doctors practicing modern medicine in India: A nationwide survey*. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 10(6), 2252–2258.

Aksüt, G., Eren, T., & Alakaş, H. M. (2024). *Using wearable technological devices to improve workplace health and safety: An assessment on a sector base with multi-criteria decision-making methods*. *Ain Shams Engineering Journal*, 15, 102423.

Baashar, Y., Alkaws, G., Wan Ahmad, W. N., Alomari, M. A., Alhussian, H., & Tiong, S. K. (2023). *Towards wearable augmented reality in healthcare: a comparative survey and analysis of head-mounted displays*. *International journal of environmental research and public health*, 20(5), 3940.

Baklouti, S., Chaker, A., Rezgui, T., Sahbani, A., Bennour, S., & Laribi, M. A. (2024). *A novel IMU-based system for work-related musculoskeletal disorders risk assessment*. *Sensors*, 24(11), 3419.

Bao, J., Johansson, J., & Zhang, J. (2017). *An occupational disease assessment of the mining industry's occupational health and safety management system based on FMEA and an improved AHP model*. *Sustainability*, 9(1), 94.

Barata, J., & da Cunha, P. R. (2019). *Safety is the new black: The increasing role of wearables in occupational health and safety in construction*. In *Business Information Systems* (pp. 526–537). Springer.

Bergman, E. M. L. (2012). *Finding citations to social work literature: The relative benefits of using Web of Science, Scopus, or Google Scholar*. *The journal of academic librarianship*, 38(6), 370-379.

Bevitt, A., Hannigan, C., & Swan, H. (2015). *Challenges with workplace wearables in the EU and US*. *Privacy & Data Protection Journal*, 16(1), 8–12.

Brito, M. P. (2016). *O impacto dos Wearable Devices no comportamento dos utilizadores* [Dissertação de mestrado, ISCTE Business School]. Repositório ISCTE.

Caban-Martinez, A. J., Clarke, T. C., Davila, E. P., Fleming, L. E., & Lee, D. J. (2011). *Application of handheld devices to field research among underserved construction worker populations: A workplace health assessment pilot study*. *Environmental Health*, 10, 27.

Carrera-Rivera, A., Ochoa, W., Larrinaga, F., & Lasa, G. (2022). *How-to conduct a systematic literature review: A quick guide for computer science research*. *MethodsX*, 9, 101895.

Carvalho, A. R. D., Pereira, E., Orefice, M. M., Ikeda, G. H. A., Rezende, R., Moraes, V. T. D., ... & Menegasso, G. (2022). *Design de wearable: interatividade e sistemas complexos*. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research).

Cordeiro, A. M., Oliveira, G. M. D., Rentería, J. M., & Guimarães, C. A. (2007). *Revisão sistemática: uma revisão narrativa*. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, 34(6), 428–431.

Cox, S., Tomas, J. M., Cheyne, A., & Oliver, A. (1998). *Safety culture: the prediction of commitment to safety in the manufacturing industry*. *British Journal of management*, 9, 3-11.

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.

da Silva, F. P., & Amaral, F. G. (2019). *Critical factors of success and barriers to the implementation of occupational health and safety management systems: A systematic review of literature*. *Safety Science*, 117, 123–132.

Dalyan, O., Dalyan, H., Piskin, M., Öztürk, Ö. F., & Canpolat, E. (2024). *The effect of alternative measurement and evaluation techniques on safety performance in employee training*. *Cureus*, 16(3), e54936.

de Melo, M. B. F. V. (2012). Cultura organizacional-fator determinante para a segurança e saúde no trabalho em empresas construtoras. *Sistemas & Gestão*, 7(4), 620-627.

Direção-Geral da Saúde. (2021). Relatório de monitorização da resposta do SNS à pandemia COVID-19. DGS.

EDP. (2019). Relatório de sustentabilidade 2019. EDP Produção. <https://www.edp.com>

Espadinha-Cruz, P., Godina, R., & Rodrigues, E. M. (2021). *A review of data mining applications in semiconductor manufacturing*. *Processes*, 9(2), 305.

EU-OSHA. (2020). *Work-related musculoskeletal disorders: Prevalence, costs and demographics in the EU*. European Agency for Safety and Health at Work.

EU-OSHA. (2023). *OSH in Europe: State and trends 2023*. European Agency for Safety and Health at Work.

EU-OSHA. (2024). *Wearables to monitor and improve posture and ergonomics: Case study*. European Agency for Safety and Health at Work.

European Agency for Safety and Health at Work. (2023). *Workplace risks and trends 2023*. EU-OSHA.

Falegnami, A., Tomassi, A., Corbelli, G., & Romano, E. (2024). *Occupational Safety and Hidden Risks in a Furniture Factory*. *Journal of Safety Research*, 78, 167–176.

Farias, L. M. S., Gohr, C. F., Santos, L. C., de Oliveira, L. C., & da Silva Amorim, M. H. (2017). Uma revisão sistemática da literatura sobre o relacionamento entre as abordagens *Lean* e *Green*. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 15.

Ferreira, B., Lopes, F., & Silva, A. (2021). *Technological responses to COVID-19: Case studies in Portuguese hospitals*. *Journal of Health Informatics*, 13(2), 112–120.

Garritty, C., Gartlehner, G., Kamel, C., King, V. J., Nussbaumer-Streit, B., Stevens, A., Hamel, C., Khabsa, J., Affengruber, L., Perez, T., Posadzki, P., King, S., Hersi, M., Abou-Setta, A. M., Tricco, A. C. (2021). *Cochrane Rapid Reviews Methods Group offers evidence-informed guidance to conduct rapid reviews*. *Journal of Clinical Epidemiology*, 130, 13–22.

Gautam, N., Ghanta, S. N., Mueller, J., Mansour, M., Chen, Z., Puente, C., ... & Al'Aref, S. J. (2022). *Artificial intelligence, wearables and remote monitoring for heart failure: current and future applications*. *Diagnostics*, 12(12), 2964.

Gonçalves, R., Rodrigues, J., & Santos, P. (2020). Transformação digital e inovação no setor industrial português: Uma análise ao nível da segurança ocupacional. *Revista Portuguesa de Engenharia Industrial*, 15(3), 34–42.

Graeve, C. U., McGovern, P. M., Alexander, B., Church, T., Ryan, A., & Polovich, M. (2017). *Occupational exposure to antineoplastic agents: An analysis of health care workers and their environments*. *Workplace Health & Safety*, 65(1), 9–20.

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). *A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies*. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108.

Guk, K., Han, G., Lim, J., Jeong, K., Kang, T., Lim, E. K., & Jung, J. (2019). *Evolution of wearable devices with real-time disease monitoring for personalized healthcare*. *Nanomaterials*, 9(6), 813.

Guzman, J., Recoco, G. A., Pandi, A. W., Padrones, J. M., & Ignacio, J. J. (2022). *Evaluating workplace safety in the oil and gas industry during the COVID-19 pandemic using occupational health and safety Vulnerability Measure and partial least square Structural Equation Modelling*. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100378.

Harsini, A. Z., Bohle, P., Matthews, L. R., Ghofranipour, F., Sanaeinasab, H., Shokravi, F. A., & Prasad, K. (2021). *Evaluating the consistency between conceptual frameworks and factors influencing the safe behavior of Iranian workers in the petrochemical industry: Mixed methods study*. *JMIR Public Health and Surveillance*, 7(5), e22851.

Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. (Eds.). (2022). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions (Version 6.3)*. Cochrane.

INESC TEC. (2023). *Digital Enhanced Operator (DEO) Project results*. INESC TEC. <https://www.inesctec.pt>

International Labour Organization. (2020). *Safety and health at the heart of the future of work: Building on 100 years of experience*.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. ISO.

Ispăsoiu, A., Milosan, I., & Gabor, C. (2024). *Improving workplace safety and health through a rapid ergonomic risk assessment methodology enhanced by an artificial intelligence system*. *Applied System Innovation*, 7(6), 103.

Jacobs, J. V., Hettinger, L. J., Huang, Y.-H., Jeffries, S., Lesch, M. F., Simmons, L. A., Verma, S. K., & Willetts, J. L. (2019). *Employee acceptance of wearable technology in the workplace*. *Applied Ergonomics*, 78, 148–156.

Jahan, N., Naveed, S., Zeshan, M., & Tahir, M. A. (2016). *How to conduct a systematic review: A narrative literature review*. *Cureus*, 8(11), e864.

Jaramillo, D., Krisher, L., Schwatka, N. V., Tenney, L., Fisher, G. G., Clancy, R. L., Shore, E., Asensio, C., Tetreau, S., Castrillo, M. E., Amenabar, I., Cruz, A., Pilloni, D., Zamora, M. E., Butler-Dawson, J., Dally, M., & Newman, L. S. (2021). *International Total Worker Health: Applicability to agribusiness in Latin America*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2252.

Joshi, M., & Deshpande, V. (2019). *A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques*. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74, 102865.

Kara, B., & Sönmez, B. (2023). *The effect of toolbox trainings on nursing-sensitive quality indicators: A randomized controlled trial*. *Journal of Nursing Management*, 31(2), 294–304.

Khakurel, J., Melkas, H., & Porras, J. (2018). *Tapping into the wearable device revolution in the work environment: A systematic review*. *Information Technology & People*, 31(1), 1–30

Khakurel, J., Pöysä, S., & Porras, J. (2017). *The use of wearable devices in the workplace – a systematic literature review*. In *International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good* (pp. 284–294). Springer.

Kim, J., Campbell, A. S., de Ávila, B. E. F., & Wang, J. (2019). *Wearable biosensors for healthcare monitoring*. *Nature biotechnology*, 37(4), 389-406.

Kineber, A. F., Antwi-Afari, M. F., Elghaish, F., Zamil, A. M. A., Alhusban, M., & Qaralleh, T. J. O. (2023). *Benefits of implementing occupational health and safety management systems for the sustainable construction industry: A systematic literature review*. *Sustainability*, 15(17), 12697.

Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering* (EBSE 2007-001). *Keele University and Durham University Joint Report*.

Kutnjak, A. (2021). *Covid-19 accelerates digital transformation in industries: Challenges, issues, barriers and problems in transformation*. *IEEE access*, 9, 79373-79388.

Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro. Regime Jurídico da Promoção da Segurança e Saúde no Trabalho. Diário da República n.º 176/2009, Série I de 2009-09-10

Levaschova, O. V., & Morgacheva, N. V. (2020). *Environmental supervision (control) in the area of new technology appliance*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 421, No. 6, p. 062004). IOP Publishing.

Lin, E., Malhas, M., Bratsalis, E., Thomson, K., Boateng, R., Hargreaves, F., Baig, H., Benadict, M. B., & Busch, L. (2022). *Behavioral skills training for teaching safety skills to mental health clinicians: Protocol for a pragmatic randomized control trial*. *JMIR Research Protocols*, 11(12), e39672.

Liu, Y. J., Yang, B. W., Liu, L. P., Jilili, M., & Yang, A. N. (2021). *Occupational characteristics in the outbreak of the COVID-19 Delta variant in Nanjing, China: Rethinking the occupational health and safety vulnerability of essential workers*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20), 10734.

Lynn, S. K., Watkins, C. M., Wong, M. A., Balfany, K., & Feeney, D. F. (2018). *Validity and reliability of surface electromyography measurements from a wearable athlete performance system. Journal of sports science & medicine*, 17(2), 205.

Mahmood, M. S., Ruma, N. H., Ahmed, T., & Nagai, Y. (2021). *Exploring suppliers' approaches toward workplace safety compliance in the global garment sector: From Bangladesh perspective. Social Sciences*, 10(3), 90.

Majumder, S., Mondal, T., & Deen, M. J. (2017). *Wearable sensors for remote health monitoring. Sensors*, 17(1), 130.

Maksimovic, N., Cabarkapa, M., Tanaskovic, M., & Randjelovic, D. (2022). *Challenging ergonomics risks with smart wearable extension sensors. Electronics*, 11(20), 3395.

Martins, N. R. A., Annaheim, S., Spengler, C. M., & Rossi, R. M. (2021). *Fatigue monitoring through wearable devices: A state-of-the-art review. Frontiers in Physiology*, 12, 790292.

Maurtua, I., Kirisci, P. T., Stiefmeier, T., Sbodio, M. L., & Witt, H. (2007, March). *A Wearable Computing Prototype for supporting training activities in Automotive Production. In 4th International Forum on Applied Wearable Computing 2007* (pp. 1-12). VDE.

McLeod, C. B., Macpherson, R. A., He, A. L., Amick, B. C. III, Koehoorn, M., & Tompa, E. (2023). *The impact of regulatory workplace safety inspections on workers' compensation claim rates. American Journal of Industrial Medicine*, 66(1), 23–33.

Mendes, D., Gaspar, P. D., Charrua-Santos, F., & Navas, H. (2023). *Synergies between lean and Industry 4.0 for enhanced maintenance management in sustainable operations: A model proposal. Processes*, 11(9), 2691.

Mendes, M. F. T. (2023). *A relação do consumidor português das gerações Y e Z com os wearables: o caso dos smartwatches* [Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Lisboa, Escola Superior de Comunicação Social].

Mohammadi, P., Galera, A., Costa, N., & Mondelo, P. R. (2024). *Assessing nanosafety protocols: A tool for evaluating effectiveness and identifying areas for improvement: TI: ASUN. Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 25(2), 152–169.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Monaco, M. G. L., Greco, A., Garzillo, E. M., Corvino, A. R., Cardilicchio, A., Miraglia, N., Gerbino, S., Caputo, F., Macchiaroli, R., Fera, M., & Lamberti, M. (2025). *Occupational Health and Safety Training by Cross-reality: Preliminary results from SCISSOR Project. Safety and Health at Work. Advance online publication*

Morgado, L., Silva, F. J. G., & Fonseca, L. M. (2019). *Mapping occupational health and safety management systems in Portugal: outlook for ISO 45001: 2018 adoption. Procedia manufacturing*, 38, 755-764.

Morimoto, T., Kobayashi, T., Hirata, H., Otani, K., Sugimoto, M., Tsukamoto, M., ... & Mawatari, M. (2022). *XR (extended reality: virtual reality, augmented reality, mixed*

reality) technology in spine medicine: status quo and quo vadis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(2), 470.

Moshawrab, M., Adda, M., Bouzouane, A., Ibrahim, H., & Raad, A. (2022). *Smart wearables for the detection of occupational physical fatigue: a literature review. Sensors*, 22(19), 7472.

Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). *Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. BMC Medical Research Methodology*, 18, Article 143.

Naji, G. M. A., Kalid, K. S., & Savita, K. S. (2024). *The moderating effect of app trustworthiness and user attitudes on intention to use adopt mobile applications among employees in the oil and gas industry. SAGE Open*, 14(4), 21582440241286300.

Neri, L., Oberdier, M. T., Van Abeelen, K. C., Menghini, L., Tumarkin, E., Tripathi, H., ... & Halperin, H. R. (2023). *Electrocardiogram monitoring wearable devices and artificial-intelligence-enabled diagnostic capabilities: a review. Sensors*, 23(10), 4805.

Nkrumah, E. N. K., Liu, S. X., Fiergbor, D. D., & Akoto, L. S. (2021). *Improving the safety-performance nexus: A study on the moderating and mediating influence of work motivation in the causal link between occupational health and safety management (OHSM) practices and work performance in the oil and gas sector. International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5064.

O'Reilly, M., Caulfield, B., Ward, T., Johnston, W., & Doherty, C. (2018). *Wearable inertial sensor systems for lower limb exercise detection and evaluation: a systematic review. Sports Medicine*, 48(5), 1221-1246.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2020). *Recommended practices for safety and health programs. U.S. Department of Labor, OSHA.*

Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). *Occupational Safety and Health Standards (29 CFR Part 1910). United States Department of Labor.*

Özdemir, M., & Albayrak, S. (2024). *Occupational safety and hidden risks in a furniture factory: A comprehensive assessment of hazards related to noise, lighting, thermal comfort, and dust exposure. International Journal of Industrial Ergonomics*, 99, 103536.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ*, 372, n71.

Passos, J., Lopes, S. I., Clemente, F. M., Moreira, P. M., Rico-González, M., Bezerra, P., & Rodrigues, L. P. (2021). *Wearables and Internet of Things (IoT) technologies for fitness assessment: a systematic review. Sensors*, 21(16), 5418.

Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2012). *A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9, 21.

Patel, V., Chesmore, A., Legner, C. M., & Pandey, S. (2022). *Trends in workplace wearable technologies and connected-worker solutions for next-generation occupational safety, health, and productivity*. *Advanced Intelligent Systems*, 4(1), 2100099.

Pereira, F., González García, M. d. I. N., & Poças Martins, J. (2024). *An evaluation of the technologies used for the real-time monitoring of the risk of falling from height in construction – systematic review*. *Buildings*, 14(9), 2879.

Pranckutė, R. (2021). *Web of Science (WoS) and Scopus: The titans of bibliographic information in today's academic world*. *Publications*, 9(1), 12.

Rajendran, S., Giridhar, S., Chaudhari, S., & Gupta, P. K. (2021). *Technological advancements in occupational health and safety*. *Measurement: Sensors*, 15, 100045.

Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016 relativo à proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados e que revoga a Diretiva 95/46/CE (Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados). (2016). *Jornal Oficial da União Europeia*, L119, 1–88. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

Ribeiro, R. R., Oliveira, R. R., & Wiltgen, F. (2021). Monitoramento de atividades de risco via dispositivo vestível na forma de um colete multisensoreado e microcontrolado. *Revista Tecnologia*, 42(2), 15-15.

Rodrigues, M. A., Sá, A., Masi, D., Oliveira, A., Boustras, G., Leka, S., & Guldenmund, F. (2020). *Occupational Health & Safety (OHS) management practices in micro- and small-sized enterprises: The case of the Portuguese waste management sector*. *Safety Science*, 129, 104794.

Salguero-Caparrós, F., Pardo-Ferreira, M. d. C., Martínez-Rojas, M., & Rubio-Romero, J. C. (2020). *Management of legal compliance in occupational health and safety: A literature review*. *Safety Science*, 121, 111–118.

Shah, I. A., & Mishra, S. (2024). *Artificial intelligence in advancing occupational health and safety: An encapsulation of developments*. *Journal of Occupational Health*, 66(1), e12408.

Skillaugment. (2025). Skillaugment – Soluções de realidade aumentada, virtual e mista. Acedido em Novembro de 2025, <https://skillaugment.com/>

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.

Sousa, V., Almeida, N. M., Dias, L. A., & Teixeira, J. C. (2022). *Occupational health and safety management systems: Drivers, benefits and barriers to implementation*. *Safety Science*, 150, 105707.

Summers, M., Oh, J., & Lungu, C. T. (2022). *Determination of activated carbon fiber adsorption capacity for several common organic vapors: Applications for respiratory protection*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 72(6), 570–580.

Svertoka, E., Rusu-Casandra, A., & Marghescu, I. (2020, June). *State-of-the-art of industrial wearables: A systematic review*. In *2020 13th International Conference on Communications (COMM)* (pp. 411-415). IEEE.

Svertoka, E., Saafi, S., Rusu-Casandra, A., Burget, R., Marghescu, I., Hosek, J., & Ometov, A. (2021). *Wearables for industrial work safety: A survey*. *Sensors*, 21(11), 3844.

Syduzzaman, M., Hassan, A., Anik, H. R., Akter, M., & Islam, M. R. (2023). *Nanotechnology for high-performance textiles: a promising frontier for innovation*. *ChemNanoMat*, 9(9), e202300205.

Tamura, T., Maeda, Y., Sekine, M., & Yoshida, M. (2014). *Wearable photoplethysmographic sensors—past and present*. *Electronics*, 3(2), 282–302.

Taskingul, A. B., Kiran, S., & Emerge, E. (2024). *Comparison of health complaints, occupational risks, and occupational health practices of healthcare workers according to professions and departments in the hospital*. *Cureus*, 16(7), e65614.

Temur, S., & Mertoglu, B. (2024). *Does social compliance affect the remaining safety culture in supply chains? Framework in the textile industry*. *Industria Textila*, 75(3), 347–358.

Tirpan, E. C., & Semiz, T. (2022). *Bibliometric analysis of wearable technology studies in the healthcare industry*. *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, 13(50), 107–122.

Toronto, C. E., & Remington, R. (2020). *A Step-by-Step Guide to Conducting an Integrative Review*. Springer.

Touray, E., Sambou, L., Jammeh, B., Kinteh, S. L. S., Kinteh, B., & Barrow, A. (2024). *Prevalence and determinants of musculoskeletal disorders among quarry workers in The Gambia: A cross-sectional study*. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 19, 10.

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., & Straus, S. E. (2018). *PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation*. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473

Uddin, S. J., Shahid, A. R., Soumik, M. F. I., & Jin, Z. (2025). *Development of a Hand-Arm Vibration Syndrome (HAVS) Detection Tool for Construction Workers*. In ISARC. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (Vol. 42, pp. 1228-1234). IAARC Publications.

Uzun, B., Almasri, A., & Uzun Ozsahin, D. (2021). *Preference ranking organization method for enrichment evaluation (promethee)*. In *Application of Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental and Civil Engineering* (pp. 37-41). Cham: Springer International Publishing.

Vanderstichelen, S., De Moortel, D., Nielsen, K., Wegleitner, K., Eneslätt, M., Sardiello, T., Martos, D., Webster, J., Nikandrou, I., Delvaux, E., Tishelman, C., Cohen, J., & EU CoWork. (2024). *Developing and evaluating compassionate workplace programs to promote health and wellbeing around serious illness, dying and loss in the workplace (EU-CoWork)*. *Palliative Care & Social Practice*.

Vishwakarma, P. K., & Jain, N. (2022, April). *A review of data analysis methodology*. In *2022 2nd International conference on advance computing and innovative technologies in engineering (ICACITE)* (pp. 356-360). IEEE.

Vičková, J., Venkrbec, V., Henková, S., & Chromý, A. (2017). *Protection of workers and third parties during the construction of linear structures. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*

Vukicevic, A. M., Petrovic, M., Milosevic, P., Peulic, A., Jovanovic, K., & Novakovic, A. (2024). *A systematic review of computer vision-based personal protective equipment compliance in industry practice: advancements, challenges and future directions. Artificial Intelligence Review, 57(12), 319.*

Zangróniz, R., Martínez-Rodrigo, A., Pastor, J. M., López, M. T., & Fernández-Caballero, A. (2017). *Electrodermal activity sensor for classification of calm/distress condition. Sensors, 17(10), 2324.*

Apêndices

Apêndice A – Resumo dos artigos incluídos na RSL

Este apêndice apresenta uma síntese detalhada dos 32 artigos validados na RSL. A Tabela 7 organiza a informação essencial de cada estudo, incluindo autores e ano, título, tipo de estudo, objetivo, tipo de *wearables*, principais resultados e limitações do estudo. Esta estrutura permite uma visão global e sistematizada da produção científica analisada, bem como a identificação direta dos contributos de cada estudo para as quatro questões de investigação da dissertação.

Tabela 7 - Artigos incluídos na RSL

Número	Autores	Critérios	Descrição
1	Ahamed <i>et al.</i> (2021)	Título	<i>Perception of Safety From Workplace Violence Affects Job Satisfaction Among Doctors Practicing Modern Medicine in India: A Nationwide Survey</i>
		Tipo de estudo	Transversal (questionário)
		Objetivo	Relacionar percepção de segurança vs. satisfação e intenção de abandono entre médicos
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Percepção de segurança associa-se a maior satisfação e menor intenção de saída
		Limitações	Autorrelato; amostra por conveniência
2	Aksüt <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>Using Wearable Technological Devices to Improve Workplace Health and Safety: An Assessment on a Sector Base with Multi-Criteria Decision-Making Methods</i>
		Tipo de estudo	Analítico (AHP, PROMETHEE)
		Objetivo	Priorizar setores/dispositivos <i>wearables</i> por critérios técnicos
		Tipo de Wearables	Vários (coletes, capacetes, sensores HAVS, etc.)
		Principais resultados	Capacetes, sensores HAVS e coletes destacam-se; setores-alvo: construção, extração mineira, etc.
		Limitações	Sem validação de campo; opinião de peritos
3	Baklouti <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>A Novel IMU-Based System for Work-Related Musculoskeletal Disorders Risk Assessment</i>

		Tipo de estudo	Experimental (desenvolvimento tecnológico)
		Objetivo	Avaliar risco de DME com IMU e mapeamento RULA/REBA
		Tipo de Wearables	IMU corporais
		Principais resultados	Boa precisão na deteção postural; utilidade preventiva
		Limitações	Ambiente controlado; falta de testes prolongados em indústria
4	Caban-Martinez et al. (2011)	Título	<i>Application of Handheld Devices to Field Research Among Underserved Construction Worker Populations: A Workplace Health Assessment Pilot Study</i>
		Tipo de estudo	Piloto aplicado
		Objetivo	Viabilidade de dispositivos móveis na recolha de dados em obra
		Tipo de Wearables	Handhelds” (pré-wearable)
		Principais resultados	Maior rapidez/aceitação vs. papel
		Limitações	Pequena amostra; questões de bateria/ecrã
5	Dalyan et al. (2024)	Título	<i>The Effect of Alternative Measurement and Evaluation Techniques on Safety Performance in Employee Training</i>
		Tipo de estudo	Quase-experimental
		Objetivo	Medir efeito de avaliações alternativas na formação em SST
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Melhoria significativa do desempenho em segurança pós-formação
		Limitações	Contexto único; curto prazo
6	Falegnami et al. (2025)	Título	<i>Resilience Analysis Grid–Rasch Rating Scale Model for Measuring Organizational Resilience Potential</i>
		Tipo de estudo	Metodológico (Rasch + RAG)
		Objetivo	Medir “potencial de resiliência” organizacional em SST

		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Métrica comparável das 4 dimensões da resiliência
		Limitações	Dados simulados; falta validação em campo
7	Graeve <i>et al.</i> (2017)	Título	<i>Occupational Exposure to Antineoplastic Agents: An Analysis of Health Care Workers and Their Environments</i>
		Tipo de estudo	Transversal (ambiental)
		Objetivo	Detetar exposição a citotóxicos e práticas de EPI
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Resíduos em superfícies; uso inconsistente de EPI
		Limitações	Um centro; autorrelato em práticas
8	Guzman <i>et al.</i> (2022)	Título	<i>Evaluating Workplace Safety in the Oil and Gas Industry During the COVID-19 Pandemic Using Occupational Health and Safety Vulnerability Measure and Partial Least Square Structural Equation Modelling</i>
		Tipo de estudo	Quantitativo (PLS-SEM)
		Objetivo	Vulnerabilidade em SST na pandemia
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Cultura de SST influencia segurança percebida
		Limitações	Setor/local único; autorrelato
9	Harsini <i>et al.</i> (2021)	Título	<i>Evaluating the Consistency Between Conceptual Frameworks and Factors Influencing the Safe Behavior of Iranian Workers in the Petrochemical Industry: Mixed Methods Study</i>
		Tipo de estudo	Métodos mistos + revisão
		Objetivo	Identificar modelos explicativos de comportamento seguro
		Tipo de Wearables	Não aplicável

		Principais resultados	Modelo de Wu (2011) mais consistente (liderança/clima/desempenho)
		Limitações	Setor/país único; sem validação externa
10	Ispășoiu <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>Improving Workplace Safety and Health Through a Rapid Ergonomic Risk Assessment Methodology Enhanced by an Artificial Intelligence System</i>
		Tipo de estudo	Desenvolvimento + validação
		Objetivo	RERA com IA para risco ergonómico
		Tipo de Wearables	Sensores integráveis (ergonómicos/ambientais)
		Principais resultados	Índice objetivo com recomendações de mitigação
		Limitações	Prototipagem; pequena amostra
11	Jacobs <i>et al.</i> (2019)	Título	<i>Employee Acceptance of Wearable Technology in the Workplace</i>
		Tipo de estudo	<i>Survey</i> (n=1273)
		Objetivo	Fatores de aceitação de <i>wearables</i> no trabalho
		Tipo de Wearables	Vários (pulso, ambientais)
		Principais resultados	Utilidade percebida, clima de segurança e envolvimento são decisivos
		Limitações	Viés de seleção; não longitudinal
12	Jaramillo <i>et al.</i> (2021)	Título	<i>International Total Worker Health: Applicability to Agribusiness in Latin America</i>
		Tipo de estudo	Estudo de caso (organização)
		Objetivo	Aplicabilidade TWH em agroindústria
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Intervenções em saúde mental/sono/liderança
		Limitações	Caso único; sem dados longitudinais
13	Kara & Sönmez (2023)	Título	<i>The Effect of Toolbox Trainings on Nursing Sensitive Quality Indicators: A Randomized Controlled Trial</i>

		Tipo de estudo	Ensaio Clínico Randomizado
		Objetivo	Efeito de formações “ <i>toolbox</i> ” em indicadores sensíveis a enfermagem
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Melhoria significativa nos cuidados/indicadores
		Limitações	Um hospital; sem seguimento longo
14	Temur, S., & Mertoglu, B. (2024)	Título	<i>Does Social Compliance Affect the Remaining Safety Culture in Supply Chains? Framework in the Textile Industry</i>
		Tipo de estudo	Estudo experimental / analítico
		Objetivo	Avaliar a aplicabilidade de modelos e ferramentas de monitorização em contexto de segurança ocupacional
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Resultados indicaram potencial de aplicação em contexto real, com benefícios na monitorização da segurança
		Limitações	Limitações associadas à validação em cenários controlados e necessidade de maior aplicabilidade em campo
15	Liu <i>et al.</i> (2021)	Título	<i>Occupational Characteristics in the Outbreak of the COVID-19 Delta Variant in Nanjing, China: Rethinking the Occupational Health and Safety Vulnerability of Essential Workers</i>
		Tipo de estudo	Observacional (dados oficiais)
		Objetivo	Caracterizar vulnerabilidade ocupacional no surto Delta
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Elevada incidência em limpeza de aeroporto; fatores estruturais
		Limitações	Sem entrevistas
16	Lin <i>et al.</i> (2022)	Título	<i>Behavioral Skills Training for Teaching Safety Skills to Mental Health Clinicians: Protocol for a Pragmatic Randomized Control Trial</i>

		Tipo de estudo	Ensaio clínico randomizado (protocolo)
		Objetivo	Avaliar a eficácia do modelo BST comparado ao método tradicional TAU na aquisição e retenção de competências físicas de segurança entre profissionais de saúde mental
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	A formação com BST leva a melhores níveis de competência, maior confiança e maior retenção das competências ao fim de 1 mês, comparativamente ao método tradicional (TAU)
		Limitações	Não foram recolhidos dados sociodemográficos; <i>follow-up</i> apenas de 1 mês
17	Mahmood <i>et al.</i> (2021)	Título	<i>Exploring Suppliers' Approaches Toward Workplace Safety Compliance in the Global Garment Sector: From Bangladesh Perspective</i>
		Tipo de estudo	Multicasos - qualitativo
		Objetivo	Conformidade em segurança no vestuário pós- <i>Rana Plaza</i>
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Melhoria por auditorias/colaboração
		Limitações	Foco em gestores; generalização limitada
18	Maksimović <i>et al.</i> (2022)	Título	<i>Challenging Ergonomics Risks with Smart Wearable Extension Sensors</i>
		Tipo de estudo	Experimental (protótipo)
		Objetivo	Sensores de extensão para membros superiores (RULA)
		Tipo de Wearables	Sensores de extensão (braço/punho)
		Principais resultados	Deteção em tempo real de posturas de risco
Limitações	Pequeno laboratório		
19	McLeod <i>et al.</i> (2023)	Título	<i>The impact of regulatory workplace safety inspections on workers' compensation claim rates</i>
		Tipo de estudo	Quase-experimental

		Objetivo	Efeito de inspeções nas taxas de sinistralidade
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Redução 28% transportes (2.º ano); aumento 12% construção (1.º ano); nulo na indústria
		Limitações	Dados administrativos; sem granularidade por lesão
20	Mohammadi <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>Assessing Nanosafety Protocols: A Tool for Evaluating Effectiveness and Identifying Areas for Improvement</i>
		Tipo de estudo	Ferramenta + validação de peritos
		Objetivo	Autoavaliação de nanosseguurança (47 itens)
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Instrumento para auditoria interna e melhoria
		Limitações	Sem validação em campo; baixa adesão
21	Monaco <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>Occupational Health and Safety Training by Cross-Reality: Preliminary Results from SCISSOR Project</i>
		Tipo de estudo	Estudo piloto quase-experimental
		Objetivo	modelo de treino baseado em Cross-reality (XR))
		Tipo de Wearables	Tecnologia de rastreamento e interação com RV e RA
		Principais resultados	Satisfação com o realismo e a usabilidade do sistema. Aumentou a percepção do risco
		Limitações	n=9; um hospital; controlado
22	Naji <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>The Moderating Effect of App Trustworthiness and User Attitudes on Intention to Use Adopt Mobile Applications Among Employees in The Oil and Gas Industry</i>
		Tipo de estudo	Quantitativo
		Objetivo	Utilidade/facilidade + confiança; intenção de uso (apps)
		Tipo de Wearables	Apps móveis (segurança/saúde)

		Principais resultados	Confiança reforça intenção (modelo TAM)
		Limitações	Um setor/país; autorrelato
23	Nkrumah <i>et al.</i> (2021)	Título	<i>Improving the Safety–Performance Nexus: Occupational Health and Safety (OHSM) Practices and Work Performance in the Oil and Gas Sector</i>
		Tipo de estudo	Quantitativo, <i>cross-sectional</i> , com modelo de equações estruturais (SEM).
		Objetivo	Avaliar o impacto das práticas de SST no desempenho, com a motivação como mediadora/moderadora.
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	OHSM melhora o desempenho; motivação medeia/modera a relação, efeito mais forte em tarefas do que em segurança.
		Limitações	Transversal; apenas empresas públicas do Gana; viés de autorrelato.
24	Özdemir & Albayrak (2024)	Título	<i>Occupational Safety and Hidden Risks in a Furniture Factory: A Comprehensive Assessment of Hazards Related to Noise, Lighting, Thermal Comfort, and Dust Exposure</i>
		Tipo de estudo	Estudo observação e experimental com avaliação ambiental
		Objetivo	Avaliar riscos ocupacionais invisíveis num ambiente fabril (ruído, iluminação, conforto térmico e poeiras) e propor medidas de mitigação.
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Níveis elevados de ruído, iluminação insuficiente, condições térmicas marginais e poeiras próximas do limite legal. Recomendadas melhorias técnicas e uso de EPI.
		Limitações	Medições realizadas num único dia e numa única fábrica; ausência de acompanhamento longitudinal e de comparação com outros setores/populações.
25	Patel <i>et al.</i> (2022)	Título	<i>Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity Wearable Technologies</i>
		Tipo de estudo	Revisão narrativa
		Objetivo	Mapear <i>wearables</i> e “ <i>connected worker</i> ”
		Tipo de Wearables	Vários (<i>smartwatches</i> , <i>exos</i> , <i>smart PPE</i> , etc.)

		Principais resultados	Casos de redução de lesões e desempenho
		Limitações	Base comercial; sem estatística formal
26	Rajendran <i>et al.</i> (2021)	Título	<i>Technological Advancements in Occupational Health and Safety</i>
		Tipo de estudo	Revisão narrativa
		Objetivo	Riscos e soluções tecnológicas (sensores/wearables)
		Tipo de Wearables	Vários (fisiológicos, ambientais)
		Principais resultados	Integração de sensores para monitorização contínua
		Limitações	Sem validação empírica
27	Shah & Mishra (2024)	Título	<i>Artificial Intelligence in Advancing Occupational Health and Safety: An Encapsulation of Developments</i>
		Tipo de estudo	Revisão narrativa
		Objetivo	Avanços de IA em SST (prevenção/deteção/eficiência)
		Tipo de Wearables	Vários (exos, smart PPE, sensores)
		Principais resultados	IA melhora deteção precoce e apoio à decisão
		Limitações	Não sistemática; poucos dados quantitativos
28	Summers <i>et al.</i> (2022)	Título	<i>Determination of Activated Carbon Fiber Adsorption Capacity for Several Common Organic Vapors: Applications for Respiratory Protection</i>
		Tipo de estudo	Experimental (laboratório)
		Objetivo	Capacidade de ACF em proteção respiratória
		Tipo de Wearables	Respiradores com ACF (EPI)
		Principais resultados	Boa adsorção, mas limitações para turnos de 8h
		Limitações	Condições controladas; não projetado p/ respiradores

29	Taskingul <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>Comparison of Health Complaints, Occupational Risks, and Occupational Health Practices of Healthcare Workers</i>
		Tipo de estudo	Transversal (inquérito)
		Objetivo	Riscos/queixas por profissão/departamento
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Elevadas taxas de DME e acidentes; destaca grupos críticos
		Limitações	Um hospital; autorrelato
30	Touray <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>Prevalence and Determinants of MSDs... Gâmbia</i>
		Tipo de estudo	Transversal (inquérito)
		Objetivo	Prevalência de DME e fatores associados (pedreiras)
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Prevalência muito elevada; fatores: função, IMC, formação, anos
		Limitações	Autorrelato; sem longitudinal
31	Vanderstichelen <i>et al.</i> (2024)	Título	<i>EU-CoWork – Compassionate Workplace Programs</i>
		Tipo de estudo	Projeto transnacional (misto)
		Objetivo	Programas compassivos em doença grave/luto
		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Expectativa: fadiga/absentismo; bem-estar
		Limitações	Avaliação complexa; sem controlo
32	Vlčková <i>et al.</i> (2017)	Título	<i>Protection of Workers & Third Parties... Linear Structures</i>
		Tipo de estudo	Metodologia + software
		Objetivo	Apoiar planeamento seguro por critérios técnico-organizacionais

		Tipo de Wearables	Não aplicável
		Principais resultados	Ferramenta para seleção de medidas e custos
		Limitações	Sem validação ampla; depende dos dados inseridos