

O impacto da Internet das Coisas (IoT), da Inteligência Artificial (IA) e da Realidade Virtual (RV) na segurança do trabalho

The impact of the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI) and Virtual Reality (VR) on workplace safety

<https://doi.org/10.32586/rcda.v23i1.964>

Rejane Felix Pereira¹
Eduardo de Sousa Lemos²

RESUMO

A IoT (Internet das Coisas) oferece a capacidade de coletar dados em tempo real sobre as condições de trabalho, enquanto a IA (Inteligência Artificial) possibilita a análise desses dados e a identificação de padrões de risco. A RV (Realidade Virtual), por sua vez, oferece oportunidades para o treinamento imersivo de trabalhadores em ambientes virtuais simulados. Este artigo analisa o impacto das novas tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) e a Realidade Virtual (RV) na segurança do trabalho. Por meio de uma revisão da literatura, foram identificados estudos relevantes que destacam o papel dessas tecnologias na prevenção de acidentes e na promoção de ambientes de trabalho mais seguros e saudáveis. No entanto, desafios relacionados à privacidade dos dados, à segurança cibernética e à interoperabilidade dos sistemas preci-

1 Mestre e doutora em engenharia civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Graduada em engenharia civil pela UFC. Especialista em direito constitucional pela Faculdade de Minas (Facuminas). Professora do magistério superior da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab), lecionando, dentre outras, as disciplinas de didática, ética e legislação e de trabalho de conclusão de curso. E-mail: rejane.pereira@unilab.edu.br

2 Mestre em direito e negócios internacionais pela Universidad Europea del Atlántico. Graduado em direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduado em ciências contábeis, administração e licenciado em matemática. Procurador do Ministério Público de Contas do Ceará. Já exerceu os cargos de procurador do Ministério Público de Contas de Goiás, Conselheiro Substituto do Tribunal de Contas do Estado do Paraná (TCE/PR) e do Tribunal de Contas Municipal do Goiás (TCM/GO) e de Auditor Federal de Controle Externo do TCU. E-mail: eduardo@tce.ce.gov.br

sam ser superados para garantir uma implementação eficaz e ética dessas tecnologias. Ao integrar a IoT, a IA e a RV em estratégias abrangentes de segurança ocupacional, é possível criar ambientes de trabalho mais seguros, saudáveis e produtivos para todos os trabalhadores.

Palavras-chave: tecnologias emergentes; segurança no trabalho; *insights*.

ABSTRACT

IoT (Internet of Things) offers the ability to collect real-time data about working conditions, while AI (Artificial Intelligence) makes it possible to analyze this data and identify risk patterns. VR (virtual reality), in turn, offers opportunities for immersive training of workers in simulated virtual environments. This paper analyzes the impact of new technologies, such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI) and Virtual Reality (VR), on workplace safety. Through a literature review, relevant studies were identified that highlight the role of these technologies in preventing accidents and promoting safer and healthier work environments. However, challenges related to data privacy, cybersecurity and interoperability of the systems need to be overcome to ensure effective and ethical implementation of these technologies. By integrating IoT, AI and VR into comprehensive occupational safety strategies, you can create safer, healthier and more productive work environments for all workers.

Keywords: emerging technologies; safety at work; *insights*.

Avaliado pelo sistema
double blind review
(SEER/OJS – versão 3)



Data de submissão: 09/06/2024

Data de aprovação: 26/08/2024

Data de versão final: 15/09/2024

Data de publicação online: 13/12/2024

1 INTRODUÇÃO

Todos os setores industriais têm uma preocupação com a segurança do trabalho. Apesar dos avanços significativos nas últimas décadas, os acidentes continuam ocorrendo, sendo que poderiam ser evitados com medidas preventivas adequadas. Nesse contexto, a tecnologia desempenha um papel crucial na melhoria da segurança ocupacional, oferecendo novas soluções para identificar e mitigar riscos no ambiente de trabalho.

A segurança no ambiente de trabalho é uma preocupação fundamental em todos os setores, visando proteger a saúde e a integridade física dos trabalhadores. Nos últimos anos, o avanço tecnológico tem desempenhado um papel cada vez mais significativo na melhoria da segurança ocupacional.

Este artigo tem como objetivo analisar como as novas tecnologias, a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) e a Realidade Virtual (RV) estão sendo utilizadas para aprimorar a segurança no local de trabalho.

A justificativa para esta pesquisa reside na necessidade de compreender como o avanço tecnológico pode ser aproveitado para identificar, prevenir e responder aos riscos ocupacionais de forma mais eficaz e efetiva. Com o crescente desenvolvimento e adoção dessas tecnologias, é essencial examinar seu impacto na segurança do trabalho e explorar seu potencial para reduzir acidentes e doenças ocupacionais.

Além disso, esta pesquisa justifica-se pela importância de fornecer *insights* práticos para gestores de segurança, profissionais de saúde ocupacional e trabalhadores, sobre as possibilidades e desafios associados à implementação dessas tecnologias. Compreender como a IoT, IA e RV estão sendo aplicadas na prática pode orientar a adoção de estratégias mais eficazes para promover um ambiente de trabalho mais seguro e saudável.

Nesse sentido, para realizar a análise proposta, é importante:

- investigar os princípios e conceitos por trás das tecnologias emergentes aplicadas à segurança ocupacional;
- examinar casos de estudo e exemplos de boas práticas de implementação dessas tecnologias em ambientes industriais;
- avaliar os benefícios, desafios e limitações da utilização da IoT, IA e RV na promoção da segurança do trabalho.

A metodologia adotada neste artigo consiste em uma revisão da literatura, com o objetivo de reunir e analisar estudos relevantes sobre o impacto da tecnologia na segurança do trabalho, com foco nas novas tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Realidade Virtual (RV).

Nas seções seguintes, serão apresentados os fundamentos teóricos das tecnologias emergentes em segurança do trabalho e a metodologia para realização desta pesquisa, serão explorados também os estudos de casos e exemplos práticos de aplicação dessas tecnologias. Posteriormente, serão discutidos os benefícios, desafios e limitações associados a sua utilização. Por fim, serão apresentadas as conclusões juntamente às recomendações para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A Realidade Virtual (RV), Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA) são três tecnologias distintas, mas relacionadas entre si, que possuem impacto significativo em diversos aspectos da vida moderna, inclusive, contribuindo para segurança no ambiente de trabalho. Neste tópico, será abordada a definição dessas tecnologias e suas contribuições para prevenção de acidentes no trabalho.

2.1 A Internet das Coisas (IoT) na segurança do trabalho

A Internet das Coisas (IoT) é um paradigma tecnológico que se refere à interconexão de dispositivos físicos através da internet, permitindo a coleta, compartilhamento e análise de dados em tempo real (Bavaresco *et al.*, 2021). De acordo com Fisher *et al.* (2023), a IoT é caracterizada pela capacidade dos objetos físicos coletarem e trocarem dados entre si sem intervenção humana direta.

Essa interconexão é viabilizada por meio de sensores e dispositivos embarcados, que são incorporados em objetos do cotidiano, tornando-os “inteligentes” e capazes de comunicar informações relevantes pela rede (Silva *et al.*, 2021). Segundo Tjolleng (2023), esses dispositivos podem variar desde um simples sensor de temperatura até dispositivos mais complexos, como câmeras de vigilância e sistemas de monitoramento de saúde.

Um aspecto fundamental da IoT é a capacidade de coletar uma grande quantidade de dados em tempo real, que podem ser utilizados para monitorar condições ambientais, detectar padrões e identificar anomalias (Figueira, 2016). Esses dados são transmitidos pela internet para plataformas de processamento e análise, nas quais são transformados em insights acionáveis para apoiar a tomada de decisão.

A IoT também é caracterizada pela sua capacidade de conectar dispositivos e sistemas heterogêneos, provenientes de diferentes fabricantes e utilizando diferentes protocolos de comunicação (Keller, 2016). Isso permite a criação de ecossistemas complexos de dispositivos interconectados, que podem ser integrados a sistemas existentes de forma modular e escalável.

Um dos principais objetivos da IoT é tornar os processos mais eficientes e automatizados, reduzindo custos operacionais e melhorando a qualidade de vida das pessoas (Meireles, 2018). Por exemplo, na segurança do trabalho, a IoT pode ser utilizada para monitorar condições perigosas no ambiente, alertar os trabalhadores sobre possíveis riscos, e até mesmo acionar medidas preventivas automaticamente em caso de emergência.

De acordo com Bavaresco *et al.* (2021), “A IoT está revolucionando a segurança do trabalho, fornecendo *insights* em tempo real e permitindo intervenções proativas para prevenir acidentes”.

2.2 Inteligência Artificial (IA) na segurança do trabalho

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na segurança do trabalho tem sido um campo de pesquisa em constante evolução, visando melhorar a prevenção de acidentes e promover ambientes de trabalho mais seguros e saudáveis. Segundo Fisher (2023), a IA é definida como “a capacidade de um sistema computacional em realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana”, o que inclui a análise de dados complexos e a tomada de decisões baseadas em padrões identificados.

Russell e Norvig (2020) também afirmam que IA é um campo da ciência da computação que se concentra no desenvolvimento de sistemas capazes de realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana. Ainda, segundo Luger (2008), IA é definida como “a área da ciência da computação que se preocupa com a automação de comportamento inteligente”, em que o comportamento inteligente se refere à capacidade de perceber o ambiente e agir de maneira a alcançar os objetivos.

Um dos conceitos fundamentais da IA é o de aprendizado de máquina (*machine learning*), que se refere à capacidade dos sistemas computacionais de aprender com os dados, identificar padrões e fazer previsões ou tomar decisões com base nesses padrões (Goodfellow *et al.*, 2016). Segundo Russel e Norvig (2020), o aprendizado de máquina é uma abordagem amplamente utilizada na construção de sistemas de IA, onde os algoritmos são treinados em grandes conjuntos de dados para aprender a realizar uma determinada tarefa.

Outro conceito importante é o de redes neurais artificiais, que são modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano e são frequentemente utilizados em tarefas de aprendizado de máquina (Haykin, 2005). As redes neurais consistem em uma série de unidades de

processamento interconectadas, chamadas neurônios artificiais, que são organizados em camadas e são capazes de aprender a partir dos dados e através do ajuste dos pesos das conexões entre os neurônios.

Além disso, a IA também envolve o uso de algoritmos de busca e otimização para encontrar soluções para problemas complexos (Russell; Norvig, 2020). Esses algoritmos são frequentemente utilizados em problemas de planejamento, tomada de decisão e controle, em que é necessário encontrar a melhor sequência de ações para alcançar um determinado objetivo.

A Inteligência Artificial (IA) é uma tecnologia que está sendo cada vez mais utilizada para melhorar a segurança ocupacional. Os algoritmos de IA podem analisar grandes volumes de dados para identificar padrões e prever potenciais incidentes antes que eles ocorram. Por exemplo, os sistemas de IA podem analisar dados de acidentes anteriores, condições ambientais e comportamento dos trabalhadores para identificar áreas de risco e recomendar medidas preventivas. Além disso, a IA também é utilizada em sistemas de visão computacional para detectar comportamentos inseguros, como a não utilização de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) ou acesso às áreas restritas.

Segundo Fisher *et al.* (2023), “a IA está transformando a segurança do trabalho, permitindo a identificação proativa de riscos e a implementação de medidas preventivas”.

2.3 Realidade Virtual (RV) na segurança do trabalho

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que permite aos usuários interagir com ambientes tridimensionais gerados por computador de uma forma imersiva e sensorialmente envolvente (Sherman e Craig, 2003). Segundo Milgram e Kishino (1994), a RV é definida como “um ambiente gerado por computador que simula a presença física em espaços do mundo real ou imaginário, permitindo a interação do usuário com esse ambiente de maneira natural”.

Um dos componentes fundamentais da RV é o ambiente virtual, que é uma representação digital de um espaço físico ou imaginário onde a interação ocorre (Sherman; Craig, 2003). Esse ambiente pode variar em complexidade e detalhamento, desde ambientes simples, como salas vazias, até ambientes altamente detalhados, como cidades inteiras ou mundos fantasiosos.

Outro componente importante da RV são os dispositivos de imersão, que são dispositivos utilizados pelos usuários para experimentar a RV de forma sensorialmente imersiva (Burdea; Coiffet, 2003). Esses dispositivos incluem óculos de RV, luvas de sensoriamento de movimento, dispositivos de rastreamento de cabeça e corpo, entre outros, que permitem aos usuários ver, ouvir e interagir com o ambiente virtual de forma semelhante à experiência no mundo real.

Além disso, a RV envolve o conceito de interação natural, que se refere à capacidade dos usuários interagirem com o ambiente virtual de maneira intuitiva e natural (Sherman; Craig, 2003). Isso inclui gestos, movimentos corporais, comandos de voz e outras formas de interação que imitam as interações no mundo físico.

A Realidade Virtual (RV) oferece uma forma imersiva de treinamento e simulação que pode ser aplicada à segurança ocupacional. Os trabalhadores podem ser submetidos a simulações de situações de risco, como incêndios ou vazamentos de produtos químicos, sem estar expostos aos perigos reais. Isso permite que eles pratiquem procedimentos de segurança e tomem decisões rápidas em um ambiente seguro e controlado. Além disso, a RV também é usada para o design e a avaliação de ambientes de trabalho, permitindo que os gestores identifiquem potenciais riscos antes que se tornem problemas reais.

De acordo com Tjolleng (2023), “a RV está revolucionando o treinamento em segurança do trabalho, proporcionando uma experiência imersiva e realista que melhora a retenção de conhecimento e a eficácia do treinamento”.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste artigo consistirá em uma revisão da literatura, com o objetivo de reunir e analisar estudos relevantes sobre o impacto da tecnologia na segurança do trabalho, com foco nas novas tecnologias, como, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Realidade Virtual (RV). Para isso, os seguintes procedimentos foram realizados: revisão da literatura, seleção dos artigos, extração e análise de informações, discussão e considerações finais.

Na revisão da literatura foi realizada uma busca abrangente em bases de dados acadêmicas, como Scopus, Web of Science e PubMed, bibliotecas presenciais e virtuais, utilizando palavras-chaves relacionadas ao tema, como “Internet das Coisas”, “Inteligência Artificial”, “Realidade Virtual”, “segurança do trabalho”, “saúde ocupacional”, entre outras. A busca foi restrita a artigos publicados nos últimos dez anos e disponíveis em inglês e português. Contudo, encontrou-se artigos fora desse período cuja importância motivou sua inserção neste trabalho.

Os artigos obtidos foram inicialmente avaliados com base em seus títulos e resumos para determinar sua relevância para o tema. Em seguida, os artigos selecionados foram lidos na íntegra para uma avaliação mais detalhada de sua adequação aos objetivos do estudo.

Por fim, os resultados foram discutidos em relação ao objetivo geral do estudo, analisando o papel das novas tecnologias, como IoT, IA e RV, na melhoria da segurança do trabalho, o que foi apresentado nas considerações finais, destacando as implicações práticas e as direções futuras de pesquisa.

Por meio desta metodologia, espera-se fornecer uma análise do impacto das novas tecnologias na segurança do trabalho, contribuindo para o avanço do conhecimento nessa área e fornecendo *insights* relevantes para profissionais, pesquisadores e gestores de saúde e segurança ocupacional.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos últimos anos, as tecnologias emergentes como IoT, IA e RV têm sido objeto de crescente interesse, com estudos demonstrando sua aplicação com maior ênfase, especialmente a partir da última década. Contudo, essas tecnologias ainda enfrentam desafios e limitações.

4.1 Estudo de casos e exemplos práticos

Dentre as referências pesquisadas, foram selecionados os principais estudos de casos e exemplos práticos, os quais são abordados nesse tópico.

Tsang *et al.* (2016) aplicaram um *Operational Safety Management System* (OSMS) na área frigorífica. Esse sistema foi baseado em IoT, utilizando técnicas de identificação e sensoriamento para localizar posições de trabalhadores e garantir sua segurança ocupacional. Eles utilizaram ainda a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE), *Radio Frequency Identification* (RFID), que foram úteis para localizar e coletar informações dos trabalhadores dentro das instalações frigoríficas. Os autores ainda associaram a essas tecnologias a lógica *fuzzy* que foi usada para examinar e gerar o estresse por frio personalizado e o ciclo de revisão de monitoramento.

A utilização da lógica *fuzzy* por Tsang *et al.* (2016) é particularmente interessante, pois permite uma avaliação mais precisa e personalizada do estresse por frio enfrentado pelos trabalhadores. Isso possibilita a implementação de medidas preventivas específicas para cada trabalhador com base em suas condições individuais e nos padrões de exposição ao frio.

Adewole e Akinyokun (2021) propuseram um sistema que emprega o uso de dispositivos vestíveis de *Internet of Things* (IoT) que são compostos por microcontrolador Arduino Uno, *Radio Frequency Sensors* (RFS) sem fio, etiquetas/leitores de *Radio Frequency Identification* (RFID) e módulos de *Global Positioning System* (GPS), cujo objetivo é rastrear, localizar e manter o registro das atividades e movimentos dos trabalhadores

a qualquer momento, fornecendo assim as informações exigidas pelos empregadores e órgãos de segurança para garantir a intervenção tempestiva em caso de evacuação de emergência.

O sistema proposto por Adewole e Akinyokun (2021) é uma contribuição significativa para a área de segurança do trabalho, pois integra diversas tecnologias emergentes para monitorar e garantir a segurança dos trabalhadores. Além disso, o sistema fornece informações valiosas para os empregadores e órgãos de segurança utilizarem esses dados para identificar potenciais riscos à segurança, avaliar o cumprimento dos protocolos de segurança e tomar medidas preventivas em caso de emergência, sendo que a capacidade de rastreamento e localização em tempo real permitiu uma intervenção rápida e eficaz em situações de evacuação de emergência, garantindo a segurança e o bem-estar dos trabalhadores.

Li (2018) propôs a utilização de IoT na Austrália para obras de reparo em estradas, visando a supervisão da segurança nos canteiros de obras tornando o ambiente de trabalho inteligente. Segundo o autor, a comunicação direta entre diferentes “coisas inteligentes”, como sensores, *smartphones* e bases de dados, oferece um novo ângulo na gestão da segurança.

A integração de tecnologias proposta por Li (2018) permitiu uma supervisão mais abrangente e em tempo real das condições de segurança no canteiro de obras. Os sensores podem monitorar diversos parâmetros, como: temperatura, umidade, níveis de ruído e movimentação de equipamentos, enquanto os *smartphones* e as bases de dados facilitam a coleta e análise desses dados. Essa troca de informações entre os dispositivos inteligentes possibilita uma resposta mais rápida sobre os potenciais riscos à segurança e permite uma gestão proativa da segurança no ambiente de trabalho.

AL-Harthi e Palanisamy (2017) implementaram sensores que permitem monitorar através do ecrã o ambiente de trabalho na empresa e informar a gestão sobre incidentes, como incêndio ou asfixia numa sala, enviando um e-mail e também por notificação na tela, o que permite controlar qualquer dispositivo remoto e tomar decisões rápidas em caso de imprevisto e fornecer proteção adequada durante tal ocorrência.

A implementação realizada por AL-Harathi e Palanisamy (2017) exemplifica como a utilização de sensores pode aprimorar significativamente a segurança no ambiente de trabalho. Ao integrar sensores que monitoram diversos aspectos do ambiente, como presença de fumaça, gases ou condições de asfixia, eles permitem uma supervisão contínua e em tempo real do local de trabalho.

Na pesquisa de Moore (2019), é apresentado um exemplo de aprimoramento da proteção de Segurança e Saúde no Trabalho (SST) por meio de ferramentas impulsionadas pela Inteligência Artificial (IA). O estudo descreve uma situação em uma empresa de produtos químicos especializada na fabricação de peças ópticas para máquinas, nas quais os minúsculos chips produzidos precisam ser verificados quanto aos erros. Anteriormente, essa tarefa exigia que um indivíduo examinasse visualmente os chips, permanecendo sentado e imóvel por várias horas consecutivas diante de imagens repetidas dos chips. Com a introdução da IA, essa tarefa foi completamente substituída, eliminando naturalmente os riscos associados à Segurança e Saúde no Trabalho (SST). Esses riscos incluem lesões músculo-esqueléticas, fadiga e problemas oculares. A automação dessa atividade não apenas reduziu os riscos físicos enfrentados pelos trabalhadores, mas também melhorou a eficiência e precisão da inspeção dos chips.

Sánchez *et al.* (2021) propuseram uma arquitetura que utiliza três EPIs: um capacete, uma pulseira e um cinto, que processam as informações coletadas utilizando técnicas de Inteligência Artificial (IA) por meio de *edge computing*. Associados a essa tecnologia, os autores utilizaram modelos como redes neurais convolucionais, memória de longo e curto prazos e modelos gaussianos, garantindo a segurança e integridade dos trabalhadores através da previsão e notificação precoce de anomalias detectadas no seu ambiente, o que demonstra uma abordagem abrangente e sofisticada, oferecendo uma camada adicional de proteção aos trabalhadores, permitindo a intervenção rápida e a implementação de medidas corretivas antes que a situação se agrave.

Wyk e Villiers (2009) mostraram a aplicação da Realidade Virtual (RV) na elaboração de diversos protótipos de sistemas de treinamento em RV aplicados à segurança do trabalho em minas.

As ferramentas de formação baseadas em RV oferecem a oportunidade de simular condições de trabalho do mundo real sem os riscos associados. Isso permite que os trabalhadores sejam expostos a cenários de segurança desafiadores e pratiquem os procedimentos corretos de resposta a emergências em um ambiente controlado e seguro.

Grajewski *et al.* (2013) apresentaram possibilidades de aplicação da RV imersiva e das tecnologias hápticas durante o processo de projeto e prototipagem virtual dos locais de trabalho fabris. Mostraram a utilização de um dispositivo háptico com efeito *force feedback* para melhorar a ergonomia das principais atividades do operador, e uma abordagem imersiva, nomeadamente *Head-Mounted Device*, nos sistemas de rastreamento e reconhecimento de gestos, para testar e melhorar a ergonomia dos operários no local de trabalho. A aplicação de técnicas de RV permitiu apresentar o protótipo virtual do local de trabalho no seu ambiente real de operação, limitando a necessidade de utilização de maquetes reais.

A utilização de dispositivos hápticos com *force feedback* oferece aos operadores uma sensação tátil realista durante o uso de simuladores virtuais, permitindo ajustes ergonômicos precisos para melhorar o conforto e a eficiência no trabalho. Além disso, a abordagem imersiva com dispositivos, como o *Head-Mounted Device*, proporciona uma experiência envolvente e realista, permitindo aos operadores interagir com o ambiente virtual de forma mais natural e intuitiva.

Protótipos virtuais dos locais de trabalho no ambiente real de operação reduz a necessidade de maquetes físicas, o que economiza tempo e recursos, ao mesmo tempo que oferece uma representação precisa do ambiente de trabalho, possibilitando testes e ajustes ergonômicos antes da implementação física.

4.2 Desafios e limitações

Nas referências pesquisadas foram identificados diversos desafios e limitações para implementação das tecnologias emergentes no local de trabalho. Alguns trabalhos mais relevantes estão descritos nessa seção.

O estudo de Fukumura *et al.* (2021) concentra-se na exploração das opiniões dos trabalhadores de escritório sobre a inclusão da IA em seus espaços de trabalho por meio de entrevistas em grupos focais, buscando entender as percepções dos participantes sobre os benefícios, desafios e considerações práticas da incorporação da IA nos ambientes de escritório. Como resultado, esse estudo mostrou as preferências e as preocupações dos participantes em relação à comunicação e interações com a tecnologia, e em segundo lugar, a dualidade percebida de um sistema que coleta grandes volumes de dados, com potenciais benefícios para a saúde, mas também preocupações com privacidade e confiança.

A pesquisa de Pishgar *et al.* (2021) introduziu uma nova estrutura chamada Evolução de Riscos, Detecção, Avaliação e Controle de Acidentes (Redeca), que destaca o papel crucial que a Inteligência Artificial (IA) desempenha na antecipação e controle dos riscos de exposição no ambiente de trabalho. O estudo revisou 260 documentos sobre IA em cinco setores industriais: petróleo e gás, mineração, transporte, construção e agricultura, e utilizou o quadro Redeca para destacar as aplicações e lacunas atuais nos domínios da Segurança e Saúde no Trabalho (SST) e da IA.

Os resultados de Pishgar *et al.* (2021) revelaram que a estrutura Redeca ressaltou os atributos específicos e as áreas de foco de pesquisa de cada setor industrial. Por exemplo, no setor de petróleo e gás, assim como no setor de transporte, a maioria das evidências de IA se concentrou no desenvolvimento de sensores para detectar situações perigosas. Enquanto isso, no setor da construção, o foco estava no uso de sensores para detectar incidentes, e no setor agrícola, a pesquisa priorizou sensores e atuadores que afastam os trabalhadores de condições perigosas.

A aplicação do quadro Redeca permitiu identificar os pontos fortes e as oportunidades da IA/SST em diversos setores, bem como as áreas potenciais de colaboração entre eles, pois os autores apresentam quadros com as tarefas de diversas áreas de aplicação e as IA já desenvolvidas.

Os estudos de Nappi e Ribeiro (2020) categorizaram a aplicação da Internet das Coisas (IoT) em ambientes de escritório segundo duas perspectivas distintas. Eles destacaram as atitudes dos funcionários e usuários em relação ao uso dessa tecnologia, bem como os riscos associados a ela. A primeira perspectiva analisada concentra-se na influência das características físicas dos locais de trabalho nos aspectos relacionados à eficácia do espaço de trabalho. A segunda perspectiva é centrada nos funcionários e aborda o uso dos dados de IoT para identificar o comportamento social, dados fisiológicos e estados emocionais dos funcionários associados à produtividade.

A tecnologia da Internet das Coisas (IoT) oferece uma vantagem significativa ao fornecer dados em tempo real e uma rápida recuperação de informações. Contudo, sua implementação em ambientes de escritório não está isenta de riscos. Entre os principais riscos associados a essa tecnologia estão a vigilância do local de trabalho dos funcionários, a individualização dos dados de IoT e a possível resistência por parte dos funcionários à adoção da tecnologia IoT nos ambientes de escritório.

A vigilância do local de trabalho dos funcionários é uma preocupação ética e de privacidade, já que a IoT pode ser utilizada para monitorar o comportamento e as atividades dos trabalhadores de forma contínua e intrusiva. Além disso, a individualização dos dados de IoT consiste na possibilidade de identificar individualmente os trabalhadores com base nos dados coletados, levantando preocupações sobre a privacidade e o uso indevido das informações pessoais.

A recusa dos funcionários em adotar a tecnologia IoT nos ambientes de escritório pode ser um desafio significativo, seja devido às preocupações com privacidade, falta de confiança na segurança dos dados ou resistência à mudança no ambiente de trabalho.

Na pesquisa de Moore (2019), é destacado que, apesar dos benefícios trazidos pela introdução da inteligência artificial (IA) nas fábricas, por meio dos *cobots* (robôs colaborativos), essa tecnologia também pode apresentar riscos para os trabalhadores. Um desses riscos mencionados é o risco de colisão entre robôs e seres humanos, no qual o aprendizado automático pode resultar em um comportamento imprevisível por parte do robô.

Essa preocupação decorre do fato de que os *cobots* ao aprenderem a partir de interações com humanos e com o ambiente, podem eventualmente desenvolver comportamentos que não foram previstos ou controlados adequadamente. Isso aumenta a possibilidade de colisões ou acidentes no ambiente de trabalho, representando um risco para a segurança e integridade dos trabalhadores.

Häikiö *et al.* (2020) buscaram entender as opiniões dos trabalhadores da construção sobre soluções de segurança e bem-estar no trabalho utilizando tecnologias intensivas em dados baseadas em IoT. Foram coletados dados de 4.385 trabalhadores por meio de uma pesquisa *on-line*. Os resultados indicaram que os trabalhadores aceitariam compartilhar dados se isso melhorasse a identificação de riscos à saúde pessoal e a segurança no local de trabalho. No entanto, eles expressaram preocupações com privacidade e segurança em relação aos dispositivos vestíveis. Assim, conclui-se que a confiança e a aceitação dos usuários são cruciais para adotar soluções baseadas em IoT para segurança no trabalho.

A descoberta de que os trabalhadores estariam dispostos a compartilhar dados se isso contribuísse para melhorar a identificação de riscos à saúde pessoal e segurança no local de trabalho é interessante, porque evidencia um reconhecimento da importância das tecnologias baseadas em IoT para melhorar a segurança e o bem-estar dos trabalhadores.

No entanto, as preocupações expressas pelos trabalhadores em relação à privacidade e segurança dos dispositivos vestíveis destacam uma questão importante a ser considerada ao implementar soluções de IoT no local de trabalho.

A confiança dos usuários é fundamental para o sucesso e adoção dessas tecnologias. Portanto, é crucial que as empresas e os desenvolve-

dores abordem essas preocupações, garantindo a segurança e proteção dos dados pessoais dos trabalhadores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, explorou-se o impacto das novas tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) e a Realidade Virtual (RV) na segurança do trabalho. Por meio de uma revisão da literatura, foi identificada uma série de tendências e *insights* importantes que contribuem para o entendimento do papel dessas tecnologias na promoção de ambientes de trabalho mais seguros e saudáveis.

A IoT desempenha um papel crucial na coleta de dados em tempo real sobre as condições de trabalho e o ambiente laboral. Sensores inteligentes, dispositivos vestíveis e outros dispositivos IoT são capazes de monitorar uma gama enorme de variáveis, como temperatura, umidade, exposição a produtos químicos e vibrações, fornecendo informações valiosas para a identificação e prevenção de riscos ocupacionais.

A IA emerge como uma ferramenta poderosa para a análise e interpretação desses dados. Por meio de algoritmos de *machine learning* e análise de *big data*, a IA pode identificar padrões de risco, prever potenciais acidentes e até mesmo recomendar medidas preventivas para mitigar esses riscos. A capacidade da IA de aprender com dados históricos e adaptar-se a novas situações a torna uma aliada valiosa na promoção da segurança do trabalho.

A RV oferece oportunidades únicas para o treinamento e simulação de situações de trabalho perigosas. Ambientes virtuais imersivos permitem que os trabalhadores pratiquem procedimentos de segurança, simulem situações de emergência e desenvolvam habilidades específicas sem colocar suas vidas em risco. Isso não só aumenta a eficácia do treinamento, mas também reduz o custo e o tempo associados aos métodos tradicionais de treinamento.

No entanto, apesar dos avanços significativos, há desafios a serem superados na implementação dessas três tecnologias. Questões relacionadas à

privacidade dos dados, à segurança cibernética e à interoperabilidade dos sistemas devem ser abordadas para garantir uma adoção ampla e responsável das tecnologias emergentes na segurança do trabalho. Assim, há a necessidade de que sejam efetuados investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, bem como em capacitação e aceitação dos trabalhadores, para garantir que as tecnologias sejam utilizadas de forma ética, efetiva e eficaz.

Em suma, as novas tecnologias têm o potencial de revolucionar a segurança do trabalho, oferecendo soluções inovadoras para prevenir acidentes e proteger a saúde dos trabalhadores. A integração das tecnologias IoT, IA e RV em estratégias abrangentes de segurança ocupacional promove ambientes de trabalho mais seguros, saudáveis e produtivos para todos.

REFERÊNCIAS

ADEWOLE, D.; AKINYOKUN, O. Workplace and human resource safety monitoring using internet of things. **Artificial Intelligence Research**, v. 10, p. 64-74, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5430/air.v10n1p64>. Acesso em: 12 mar. 2024.

AL-HARTHI, A. L. M. A. S.; SHAREEF, M., T.; PALANISAMY, I. Exploring Internet of Things (IoT) in Safety and Security Environment. **Journal of Student Research**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.47611/JSR.VI.546>. Acesso em: 28 mar. 2024.

BAVARESCO, R.; ARRUDA, H.; ROCHA, E.; BARBOSA, J.; LI, G.P. Internet of Things and occupational well-being in industry 4.0: a systematic mapping study and taxonomy. **Computers & Industrial Engineering**, v. 161, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036083522100574X>. Acesso em: 20 fev. 2024.

BURDEA, G. C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. John Wiley & Sons, 2003. 464 p.

FIGUEIRA, V. P. “**Internet das coisas**”: um estudo sobre questões de segurança, privacidade e infraestrutura. 2016. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Sistemas de Computação) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2016. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/5150/TCC_VITOR_PINHEIRO_FIGUEIRA_FINAL%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 fev. 2024.

FISHER, E.; FLYNN, M. A.; PRATAP, P.; VIETAS, J. A. Occupational Safety and Health Equity Impacts of Artificial Intelligence: a scoping review. **International Journal Environmental Research Public Health**, v. 20, n. 13, 2023. DOI: 10.3390/ijerph20136221. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/13/6221>. Acesso em: 10 mar. 2024.

FUKUMURA, Y.; GRAY, J.; LUCAS, G.; BECERIK-GERBER, B.; ROLL, S. Worker perspectives on incorporating Artificial Intelligence into office workspaces: implications for the future of office work. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 4, p. 2-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18041690>. Acesso em: 21 mar. 2024.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series), **The MIT Press**, 2016.

GRAJEWSKI, D.; GÓRSKI, F.; ZAWADZKI, P.; HAMROL, A. Application of Virtual Reality techniques in design of ergonomic manufacturing workplaces. **Procedia Computer Science**, v. 25, p. 289-301, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.035>. Acesso em: 5 mar. 2024.

HÄIKIÖ, J.; KALLIO, J.; MÄKELÄ, S.; KERÄNEN, J. IoT-based safety monitoring from the perspective of construction site workers.

International Journal of Occupational and Environmental Safety, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.24840/2184-0954_004.001_0001. Acesso em: 12 mar. 24.

HAYKIN, S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. Prentice Hall, 2005.

KELLER, A. L. **Internet das Coisas aplicada à indústria: dispositivo para interoperabilidade de redes Industriais**. 2016. 54 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade do Vale do Rio Sinos, São Leopoldo, RS. Disponível em: <http://repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6233>. Acesso em: 2 abr. 2024.

LI, R. Y. M. Smart working environments using the Internet of Things and construction site safety. *In*: LI, R.Y.M. **An Economic Analysis on Automated Construction Safety**. Springer, Singapore, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-10-5771-7_7. Acesso em: 28 mar. 2024.

LUGER, G. F. **Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving**, 5. ed. Addison Wesley, 2008.

MEIRELES, L. V. **Projeto de uma rede de internet das coisas para monitoramento e alerta de emergência em áreas de risco**. 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufop.br/handle/123456789/10072>. Acesso em: 5 mar. 2024.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*. **IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems**, v. E77-D, n. 12, p. 1321-1329, 1994. Disponível em: https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf. Acesso em: 22 mar. 2024.

MOORE, P. V. OSH and the future of work: benefits and risks of Artificial Intelligence tools in workplaces. *In*: DUFFY, V. (ed.). **Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Human Body and Motion**. HCII, 2019. Lecture Notes in Computer Science, v. 11581. Springer. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1_22. Acesso em: 12 mar. 2024.

NAPPI, I.; RIBEIRO, G. Internet of Things technology applications in the workplace environment: a critical review. **Journal of Corporate Real Estate**, v. 22, n. 1, p. 71-90, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/jcre-06-2019-0028>. Acesso em: 20 fev. 2024

PISHGAR, M.; ISSA, S.; SIETSEMA, M.; PRATAP, P.; DARABI, H. REDECA: A novel framework to review Artificial Intelligence and its applications in occupational safety and health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 13, p. 1-42, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18136705>. Acesso em: 15 mar. 2024.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: a modern approach**, 4th US ed. Addison Wesley, 2020.

SÁNCHEZ, S.; CAMPERO-JURADO, I.; HERRERA-SANTOS, J.; RODRÍGUEZ, S.; CORCHADO, J. Intelligent Platform Based on Smart PPE for Safety in Workplaces. **Sensors**, v. 21, n. 14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21144652>. Acesso em: 8 abr. 2024.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: interface, application, and design.** Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

SILVA, C. M. M.; SILVA, M. A. G. da; PEREIRA, A. S.; FRANZ, L. A. S.; HEIDTMANN-BEMVENUTI, R. Utilização das tecnologias da indústria 4.0 na segurança e saúde do trabalhador: uma revisão sistemática da literatura. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 7, n. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v7i5.37022>. Acesso em: 20 mar. 2024.

TJOLLENG, A. Occupational Safety and Health Training in Virtual Reality Considering Human Factors. *In: MUKHOPADHYAY, S. C., SENANAYAKE, S. N. A., WITHANA, P. C. (ed.). Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications.* CITISIA 2023. Lecture Notes in Electrical Engineering, v. 1029. Springer. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-29078-7_24. Acesso em: 10 mar. 2024.

TSANG, Y.; CHOY, K.; POON, T.; HO, G.; WU, C.; LAM, H.; KOO, P.; HO, H. An IoT-based Occupational Safety Management System in Cold Storage Facilities. *In: International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, 6. **Anais [...]**. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2991/IWAMA-16.2016.2>. Acesso em: 21 fev. 2024.

WYK, E.; VILLIERS, R. Virtual reality training applications for the mining industry. International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa, 6. *In: Anais [...]*. 2009, Pretoria, South Africa. Disponível em: <https://uir.unisa.ac.za/bitstream/handle/10500/13155/Afrigraph%2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abr. 2024.