



RISCOS



USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA SEGURANÇA DOS TRABALHADORES:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA*

53

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WORKERS SAFETY:
A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Alexandre Pinto da Silva

Universidade FUMEC, Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação (Brasil)
Faculdade Tecnologia da Informação e Comunicação
Departamento Tecnologia da Informação e Comunicação e Gestão do Conhecimento
ORCID 0000-0001-5680-7856 alexandresilva.professor@gmail.com

Frederico Giffoni de Carvalho Dutra

Universidade FUMEC, Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação (Brasil)
Faculdade Tecnologia da Informação e Comunicação
Departamento Tecnologia da Informação e Comunicação e Gestão do Conhecimento
ORCID 0000-0002-8666-0354 frederico.dutra@fumec.br

Douglas Barbonaglia Sathler Figueiredo

Universidade UNIVALI, Laboratório de Ciência da Computação (Brasil)
Faculdade da Ciência da Computação, Departamento de Ciência da Computação
ORCID 0009-0002-7503-4654 douglas.figueiredo@cemig.com.br

RESUMO

Os acidentes de trabalho representam um problema não só no Brasil, mas também em todo o mundo. A Organização Internacional do Trabalho estima que 2 milhões de pessoas morrem no mundo a cada ano de causas relacionadas ao trabalho. Esta pesquisa apresenta uma revisão sistemática de literatura, com o objetivo de identificar quais as principais publicações internacionais, tipos e aplicações da IA na segurança do trabalho, com o foco na prevenção de acidentes de trabalhadores. Após a elaboração do protocolo de pesquisa, e realização de busca nas bases *Emerald Insight*, *IEEE Xplore*, *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, foram encontrados 2.369 artigos que, após a aplicação dos critérios de exclusão, foram selecionados 31 artigos ligados diretamente à temática. Os países com mais pesquisas foram China, EUA e Coreia do Sul, com cerca de 50% do total. As principais aplicações identificadas foram o monitoramento dos trabalhadores e a detecção de objetos nos ambientes de trabalho. Ficou evidenciado que a IA aplicada a segurança dos trabalhadores ainda é pouco explorada, havendo um bom aumento a partir de 2022.

Palavras-chave: Inteligência artificial, segurança do trabalho, prevenção, tecnologia.

ABSTRACT

Work accidents represent a problem not only in Brazil, but also worldwide. The International Labour Organization estimates that 2 million people die worldwide each year from work-related causes. This research presents a systematic literature review, with the purpose of identifying the main international publications, types and applications of AI in work safety, with a focus on preventing worker accidents. After drafting the research protocol and searching the Emerald Insight, IEEE Xplore, Science Direct, Scopus, and Web of Science databases, 2,369 articles were found from which, after applying the exclusion criteria, 31 articles directly related to the theme were selected. The countries with the most searches were China, the US, and South Korea, with around 50% of the total. The main applications identified were monitoring workers and detecting objects in work environments. It became clear that AI applied to worker safety is still little explored, with a significant increase from 2022.

Keywords: Artificial intelligence, work safety, prevention, technology.

* O texto deste artigo foi submetido em 13-06-2023, sujeito a revisão por pares a 26-06-2023 e aceite para publicação em 16-09-2023.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (I), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Um novo modelo de manufatura surgiu no mundo contemporâneo, caracterizado por inúmeros tipos de tecnologias, sendo estas físicas ou digitais, como computação em nuvem, robôs colaborativos, realidade aumentada, internet das coisas e a inteligência artificial - IA. É usado o termo Indústria 4.0 para descrever esta inovadora fábrica que envolve aumento na mecanização e automação, além da digitalização e sistemas de tecnologia da informação que se comunicam entre si (Ustundag, 2018).

A Indústria 4.0, também chamada de 4ª Revolução Industrial, traz uma grande expectativa de ser mais forte e impactante que as anteriores. Neste contexto, a IA se configura como uma solução promissora a causar grande impacto como algumas das inovações mais onipresentes na história da humanidade (Clifford, 2018). Existem diversas definições para IA, podendo ser entendida como um segmento da ciência da computação que procura simular a capacidade humana de pensar, tomar decisões, resolver problemas, dotando *softwares* e robôs de uma capacidade de automatizarem diversos processos (Teixeira *et al.*, 2019).

A Inteligência Artificial foi definida por John McCarthy como um ramo da ciência da computação que se propõe criar sistemas que simulem a capacidade humana de raciocinar, perceber, tomar decisões e resolver problemas (McCarthy, 1963).

Diante das várias possibilidades que a IA apresenta para a melhoria de processos, a prevenção de acidentes no mundo ocupacional se apresenta como um vasto campo de oportunidades. Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), quase 2 milhões de pessoas morrem no mundo a cada ano de causas que estão relacionadas ao trabalho (OIT, 2021). No Brasil, segundo o Anuário Estatístico da Previdência Social (AEPS), houve, em 2019, 582.507 acidentes do trabalho registrados, sendo que destes, 2.540 resultaram em óbitos e 15.923 em incapacidade permanente (AEPS, 2019).

Algumas soluções de IA já são aplicadas nos ambientes de trabalho visando a preservação da segurança dos trabalhadores, por exemplo, o uso de método baseado em *deep learning* para a detecção em tempo real de um capacete de segurança no canteiro de obras (Li *et al.*, 2020), ou uma nova solução usando *machine learning* para aumentar a visibilidade de um operador de guindaste em ambientes operacionais industriais complexos (Golcarenarenji *et al.*, 2022).

A automação industrial associada a diferentes aplicações da IA, cujo objetivo é evitar erros humanos, tem sido amplamente discutida no mundo científico (Junior *et al.*, 2019). Dentro da área da segurança do trabalho já

foram desenvolvidos diversos projetos, em especial na indústria da construção civil, em que os acidentes do trabalho continuam com números bastantes elevados (Gnoni *et al.*, 2020). A IA por meio da visão computacional permite reconhecer comportamentos inseguros (Park *et al.*, 2020), além de identificar o uso de equipamentos de proteção individual em lugares onde este uso é obrigatório (Balakreshnan, 2020).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo identificar e analisar, por meio de uma revisão sistemática de literatura - RSL, identificar quais as principais publicações internacionais, tipos e aplicações da IA na segurança do trabalho. A contribuição desta pesquisa se dá ao aprofundar a compreensão sobre a aplicação da IA na segurança dos trabalhadores, buscando pesquisas internacionais que abordem iniciativas, ferramentas e soluções referentes à temática em questão.

Inteligência artificial e segurança do trabalho

Segundo Saliba (2011), a segurança do trabalho pode ser definida como a ciência que atua na prevenção dos acidentes do trabalho decorrentes dos fatores de riscos ocupacionais. De acordo com a Organização Internacional do Trabalho (OIT), quase 2 milhões de pessoas morrem no mundo a cada ano de causas que estão relacionadas ao trabalho (OIT, 2021). Segundo o Anuário Estatístico da Previdência Social (AEPS), na década de 70 o Brasil chegou a ter registrado aproximadamente 1.500.000 acidentes de trabalho por ano. Com a modernização das normativas e o desenvolvimento de equipamentos de proteção mais seguros, a média de acidentes de 2010 a 2019 ficou em torno de 650.000 (AEPS, 2019).

A Sociedade Espanhola de Saúde e Segurança no Trabalho constatou que, o fator humano está por trás de 80% dos acidentes de trabalho, e que determinadas características cognitivas ou de personalidade, predispõe ao trabalhador, em maior ou menor medida, a ter determinados comportamentos, maximizando ou minimizando a possibilidade de sofrer um acidente (SESST, 2018).

Neste contexto, a tecnologia possui um grande campo de atuação para a prevenção dos acidentes de trabalho. O uso da IA chega para implantação nos locais de trabalho e já pode ser considerada a novidade mais promissora para a gestão dos ambientes de trabalho e dos trabalhadores (Moore, 2020).

É importante utilizar a atual capacidade das máquinas para aplicar as técnicas de IA, que permitam às empresas, de maneira antecipada e de forma eficiente, identificar os perigos nos processos produtivos e avaliar os riscos no qual os trabalhadores estão expostos (Villalobos, 2019).

O uso da IA tem o potencial de transformar o local de trabalho por causa de duas principais características

específicas, que não têm paralelo em outras tecnologias digitais:

- Os sistemas de IA permitem o processamento automatizado de vários tipos de dados e, muitas vezes, em grandes quantidades, produzindo resultados e recomendações rapidamente e em escala;
- A tecnologia de IA, dada sua capacidade de aprendizagem, permite a assistência à tomada de decisões por meio de tarefas como reconhecimento, detecção de eventos, previsão, personalização, suporte à interação, otimização orientada por objetivos e raciocínio com estruturas de conhecimento (OCDE, 2022).

Os termos Inteligência Artificial, *Machine Learning* e *Deep Learning* são frequentemente usados de forma intercambiável para descrever os mesmos princípios no desenvolvimento de *software*. Todos esses nomes indicam a mesma coisa: uma máquina programada para aprender e encontrar a melhor solução para um problema. O *Deep Learning* é um subcampo do *Machine Learning*, enquanto o *Machine Learning*, é um subcampo da IA (Halbouni *et al.*, 2022).

Metodologia

Para a seleção de trabalhos relacionados ao tema proposto, foi feita uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), sendo uma metodologia desenvolvida por Chalmers, na tentativa de sumarizar dados de ensaios clínicos randomizados (Magarey, 2001). Para (Mulrow e Cook, 2001), é o modelo de revisão de literatura mais confiável, pois utiliza métodos rigorosos, amplos, explícitos e reproduzíveis.

Com a investigação do problema de pesquisa de diferentes domínios de aplicação, uma RSL possibilita que se identifiquem as principais tendências existentes na comunidade de pesquisa, e que o pesquisador justifique e sustente seus argumentos na apresentação de uma contribuição original (Kitchenham *et al.*, 2009); (Shadroo e Rahmani, 2018).

Dessa forma, para o desenvolvimento da RSL, foi aplicada a metodologia proposta por (Fiorini e Jabbour, 2017); (Jabbour, 2013), de forma adaptada, constituída por cinco fases:

- 1 Planejamento;
- 2 Estratégia de pesquisa;
- 3 Desenvolvimento e adoção de um sistema de classificação;
- 4 Visão geral da produção científica;
- 5 Identificação das lacunas na literatura.

1ª Planejamento

Primeiramente, foi elaborado um protocolo de pesquisa sendo dividido em três etapas:

- I. Identificação dos objetivos e questões de pesquisa;
- II. Estruturação da estratégia de busca;
- III. Definição dos critérios de exclusão e inclusão das pesquisas.

I. Identificação dos objetivos e questões de pesquisa

Nesta parte do trabalho, é aplicada a RSL, que, na pesquisa proposta, tem como principal objetivo estudar como se dá a aplicação da IA nos ambientes de trabalho, com foco na prevenção de acidentes, a fim de identificar:

- 1) Publicações que exploram técnicas de IA na segurança do trabalho.
- 2) Publicações cuja proposta inicial se refere a prevenção de acidentes do trabalho.
- 3) Publicações cuja proposta principal se refere a predição de acidentes de trabalho.
- 4) Publicações cuja proposta básica seja a detecção de situações não conformes.
- 5) Ferramentas, soluções, limitações, vantagens e desvantagens encontradas nos itens 1, 2, 3 e 4.

Para que os objetivos propostos sejam cumpridos, a principal questão de pesquisa que orientou esse estudo foi: Quais são as atividades de pesquisa em segurança do trabalho que são direcionadas à prevenção de acidentes do trabalho, considerando diferentes aplicações da IA?

II. Estruturação da estratégia de busca.

Foram considerados quatro critérios fundamentais para a seleção prévia dos trabalhos pesquisados:

- 1 Seleção de bases de dados que disponibilizem o acesso aos artigos na íntegra.
- 2 Seleção de trabalhos publicados no formato de artigo ou artigo de revisão, publicados exclusivamente em inglês, de 2018 até 2022.
- 3 Exclusão de bases de dados que indexam artigos proprietários ou que incluam resultados de artigos indexados em diferentes fontes como, por exemplo, o Google Acadêmico.
- 4 Pesquisa restrita a termos da pesquisa detectados em títulos, resumos e palavras-chaves, de forma a garantir que os termos escolhidos sejam encontrados no artigo.

Cabe ressaltar que foram considerados apenas artigos publicados a partir de 2018, devido a quase totalidade das pesquisas envolvendo a IA ser recente. Para comprovar essa argumentação, foi feita uma pesquisa prévia na base WoS (fig. 1) com os termos (“*artificial intelligence*” AND “*workplace*”) a partir de 2000, para se ter uma referência de quando a maioria dos artigos relacionados a IA com ambientes de trabalho foi publicada.

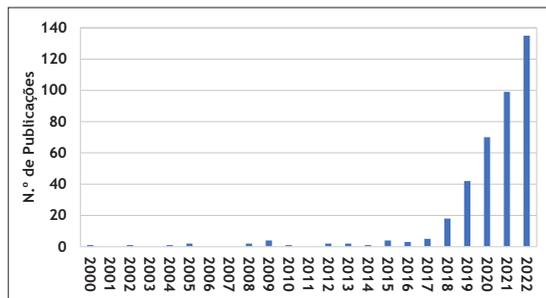


Fig. 1 - Número de publicações relativas a IA e ambientes de trabalho.

Fig. 1 - Number of publications related to AI and workplaces.

Nota-se que é somente a partir de 2018 que há um n.º considerável de pesquisas que relacionam IA com ambientes de trabalho. Antes de 2000 as publicações são desprezíveis.

Baseado nos critérios da pesquisa, foram selecionadas cinco bases de dados: *Emerald Insight*, *IEEE Xplore*, *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*.

Considerando os principais termos definidos em estudo, foi construída uma expressão de busca a ser aplicada nos campos título, resumo e palavras-chaves, com o intuito de se obter uma visão do estado da arte na temática proposta e a possível identificação de tendências e perspectivas futuras. Cabe ressaltar que as palavras-chave usadas para a busca de publicações foram baseadas nos principais termos relacionados a Inteligência Artificial disponíveis na literatura e propostos por Groenner *et al.* (2022).

Expressão de busca: (“*artificial intelligence*” OR “*deep learning*” OR “*machine learning*”) AND (“*workplace*” OR “*workstation*”) AND (“*safety*”) AND (“*prevention*” OR “*prediction*”) AND (“*accident*”))

III. Definição dos critérios de exclusão e inclusão das pesquisas.

Para a seleção dos artigos com base na estratégia de busca empregada, foram aplicados os seguintes critérios de exclusão:

- Artigos que estejam duplicados em mais de uma base de pesquisa;
- Artigos que não possuam acesso aberto ou que não estão disponíveis no banco de dados das instituições de ensino.

- Teses, dissertações, capítulos de livros ou trabalhos de conferência;
- Artigos escritos em outro idioma, exceto o inglês;
- Publicações incompletas.

Como critério de inclusão, foram selecionadas apenas pesquisas focadas na aplicação de alguma ferramenta/dispositivo de IA para prevenção de acidentes nos ambientes de trabalho.

Apresentação e discussão dos resultados

Seguindo a metodologia proposta na pesquisa, neste capítulo são apresentados os resultados obtidos. Primeiramente é apresentado o resultado quantitativo da pesquisa, obtido por meio da expressão de busca proposta (TABELA I).

TABELA I - Resultado da pesquisa a partir da expressão de busca de 2018 a 2022.

TABLE I - Search result from the search expression from 2018 to 2022.

Base	Total
Emerald Insight	138
IEEE Xplore	3
Science Direct	814
Scopus	1.410
Web of Science	4
Total	2.369

Foram encontrados 2.369 artigos entre os anos de 2018 a 2022. Após a aplicação dos critérios de exclusão, o número de artigos reduziu para 494 (TABELA II).

TABELA II - Resultado da pesquisa após aplicados os critérios de exclusão.

TABLE II - Search result after applying the exclusion criteria.

Base	Total
Emerald Insight	8
IEEE Xplore	0
Science Direct	90
Scopus	394
Web of Science	2
Total	494

Em meio aos artigos encontrados, 4 foram identificados como duplicados e 345 foram rejeitados por não estarem de acordo com os critérios de exclusão, como o título, resumo e não abordagem à temática proposta. Dessa forma, foram aceitos 146 artigos (TABELA III).

TABELA III - Metodologia de seleção dos trabalhos.

TABLE III - Methodology for selection of papers.

Tipo	Total
Duplicados	4
Rejeitados	345
Aceitos	146

2ª Estratégia de pesquisa

Após a leitura dos títulos e resumos dos 146 artigos aceitos, foram aplicados os critérios de exclusão, culminando com a permanência de 31 artigos. Para tal, foram levados em consideração fatores como a abordagem, vantagens, desvantagens, limitações, resultados, cenário de estudo e método utilizado, buscando pesquisas focadas na aplicação prática de

alguma ferramenta/dispositivo que faça uso da IA para a prevenção de acidentes do trabalho. Artigos de pesquisa qualitativa ou análise comparativa também foram desconsideradas. Dessa forma, os 31 artigos selecionados foram usados para a extração das informações.

Apresentamos de seguida a sintetização dos artigos selecionados (TABELA IV).

TABELA IV - Sintetização das contribuições de cada artigo selecionado na pesquisa.

TABLE IV - Summary of the contributions of each article selected in the research.

Estudo	Descrição do Trabalho
(Aaoki <i>et al.</i> , 2021)	Descreve a abordagem do uso de Deep Learning para classificar pessoas com fadiga ou não-fadiga, via Recorrente Neural Network (RNN). Concluído que o sistema de detecção de fadiga é viável para o uso diário.
(Balakreshnan <i>et al.</i> 2020)	Demonstra a aplicação da Inteligência Artificial e visão de máquina para identificação de Equipamento de Proteção Individual. O dispositivo pode ser usado para controlar violações de segurança quando do uso de EPI. Oferece maior segurança para o usuário, custos reduzidos e implantação com base na capacidade dos recursos de computação existentes.
(Bonifazi <i>et al.</i> 2022)	Proposição de uma estrutura que utiliza Sentient Multimedia System e Machine Learning para suporte na segurança no local de trabalho, através de um dispositivo para detecção de queda de altura, além de uma plataforma para monitoramento do ambiente de trabalho, acionamento de alarmes em caso de queda e orientações para os trabalhadores.
(Cai <i>et al.</i> , 2020)	Pesquisa propõe método utilizando Long Short-Term Memory (LSTM) que integra movimento individual e informações contextuais do local de trabalho, em ambientes não estruturado, como da construção. É usado vídeos com precisão com boa previsão. Comparando com outros métodos, o método usado provou ser mais eficiente.
(Campero-Jurado <i>et al.</i> , 2020)	Apresenta um protótipo de um capacete inteligente que monitora o ambiente dos trabalhadores e realiza uma avaliação de riscos em tempo real. Os dados são coletados pelos sensores e enviados para uma plataforma, sendo proposto a utilização de uma Deep Convolutional Neural Network para detecção de riscos nos ambientes de trabalho.
(Chang <i>et al.</i> , 2022)	Visa o desenvolvimento de um sistema flexível de alarme de segurança interna, para o monitoramento dos trabalhadores da construção que se aproximam de áreas perigosas. Para a funcionalidade, é necessário apenas de um dispositivo com Wi-fi, sem necessidade dos trabalhadores carregarem sensores. São empregados métodos de Deep Learning. Espera-se que com a pesquisa os ambientes de trabalho da construção se tornem mais seguros.
(Cho <i>et al.</i> , (2022)	Apresenta um método de monitoramento de segurança baseado em Deep Neural Network (DNN). Objetos e trabalhadores foram rastreados em suas trajetórias, buscando estimar zonas de segurança, usando imagens de câmeras CCTV e câmeras virtuais de simulação em 3D. As definições de violação de zonas de segurança baseadas em operação foram flexíveis o suficiente para monitorar vários cenários de violação que são atualmente monitorados em locais de trabalho.
Costanzo <i>et al.</i> , 2022)	Investiga o problema de controlar a velocidade de robôs colaborativos nos ambientes de trabalho, onde robôs e humanos podem compartilhar o mesmo espaço, sem nenhum contato físico. É usado um Sensor Fusion algoritmo que mescla as imagens adquiridas de vários sensores. Com isso, onde há situações de perigo, há a computação da distância de separação entre o trabalhador e o robô, ajustando sua velocidade.
(de Oliveira <i>et al.</i> , 2018)	Apresenta uma plataforma de Visão Cognitiva para Controle de Perigos (CVP-HC) no ambiente de industrial. O sistema proposto visa identificar comportamentos críticos de segurança nos ambientes de trabalho, buscando subsidiar a estratégia de segurança baseada em comportamento, sendo capaz de se ajustar que há alterações no cenário.
(Deng <i>et al.</i> , 2021)	Visa realizar uma larga cobertura para identificar e rastrear a trajetória de trabalhadores da construção em seus ambientes de trabalho. É usado o método de fusão multi-angle, aplicando o algoritmo SURF.
(Fang <i>et al.</i> , 2022)	Busca recuperar imagens de comportamento inseguro nos ambientes de trabalho, utilizando a recuperação de imagens baseada em conteúdo (CBIR). É utilizado um banco de dados digital desenvolvido pela Huazhong University of Science and Technology para validar a viabilidade da pesquisa.
(Gong <i>et al.</i> , 2021)	Propõe o monitoramento do uso de Equipamentos de Proteção Individual para trabalhadores de plataforma de perfuração offshore, através de um método de detecção de equipamento baseado em Deep Learning.
(Gradolewski <i>et al.</i> , 2020)	Apresenta um sistema de segurança em tempo real aplicando o paradigma de computação distribuída para um robô colaborativo. O sistema consiste em módulos de detecção/sensoriamento conectados a um servidor que funciona como tomada de decisão do sistema. Como método de identificação, estado da arte do Machine Learning algoritmos, o Histograma de Gradientes Orientados (HOG), Viola-Jones e You Only Look Once (YOLO) foram examinados e apresentados, sendo que o algoritmo YOLOv3 apresentou o melhor desempenho.
(Kim <i>et al.</i> (2020)	Propõe uma abordagem de Deep Active Learning para o monitoramento dos ambientes de trabalho da construção baseado em database-free (DB-free).
(Liang e Seo, 2022)	Projeto de uma Convolutional Neural Network (CNN) para identificar se todos os trabalhadores em um canteiro de obras estão usando capacete. A pesquisa fornece novos subsídios para melhorar os algoritmos existentes para a detecção do uso de capacete.
(Makris e Aivaliotis, 2022)	Propõe uma nova abordagem a respeito da colisão entre robôs colaborativos e humanos baseado em inteligência artificial e sistemas de visão, utilizando câmeras para aquisição de imagens.
Maman <i>et al.</i> , (2020)	Estabelece as bases para uma abordagem analítica de dados para gerenciar a fadiga de trabalhadores nos ambientes de trabalho, utilizando a metodologia Machine Learning, coletando dados por meio de sensores usados pelos trabalhadores.

TABELA IV - Sintetização das contribuições de cada artigo selecionado na pesquisa (continuação).

TABLE IV - Summary of the contributions of each article selected in the research (continuation).

Estudo	Descrição do Trabalho
(Marquez-Sanchez et al., 2021a)	Melhorias apresentadas na pesquisa envolveram novos equipamentos e funções para monitoramento de trabalhadores, usando a Internet das Coisas através do uso de uma pulseira pelo trabalhador, que permite monitorar, em tempo real, aspectos que afetam a saúde do trabalhador, como temperatura, queda, ruído, impactos ou batimentos cardíacos.
(Marquez-Sanchez et al., 2021b)	A pesquisa propõe equipamentos de proteção inteligentes, por meio de uma arquitetura que emprega três peças de EPI: um capacete, uma pulseira e um cinto, que processam as informações coletadas por meio de técnicas de inteligência artificial (IA) por meio de edge computing.
(Otgonbold et al., 2022)	Apresenta o conjunto de dados Safety Helmet, com uso de imagens para monitoramento do uso de capacete pelos trabalhadores, com uso de visão computacional de Deep Learning.
(Pan et al., 2022)	Propõe um método para detecção de fadiga de pilotos de Veículos Aéreos não Tripulados (UAVs), baseado no Convolutional Neural Network (CNN) Yolov5.
(Park et al., 2022)	Apresenta o uso da Convolutional Neural Network que automaticamente reconhece possíveis fatores de riscos materiais e humanos nos ambientes de trabalho da construção.
(Sága et al., 2021)	Pesquisa enfoca no gerenciamento de riscos na indústria e transporte, que estão associados com o desenvolvimento de um diagnóstico automatizado e sistema de inspeção baseado em inteligência artificial, visando a eliminação dos riscos.
(Tan et al., 2021)	Propõe Regressão logística, baseada em algoritmo de Machine Learning, juntamente com sensores, para monitorar se um capacete foi ou não usado pelos trabalhadores nos ambientes de trabalho.
(Thomas et al., 2022)	Discute o porquê de tradicionais métodos de expansão de dados podem não melhorar usando dados de medição inercial (IMU), propondo um sistema de Machine Learning capaz de detectar ações de levantamento de peso, avaliando o risco de dor nas costas, usando uma quantidade pequena de dados.
(Vukicevic et al., 2022)	Propõe o uso de técnicas de Deep Learning para melhorar o gerenciamento do uso indevido de Equipamentos de Proteção Individual pelos trabalhadores.
(Xiong e Tang, 2021)	Apresenta uma estrutura destinada a detecção de conformidade do uso de múltiplos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) nos ambientes de trabalho. Foram treinados dois classificadores baseados na Convolutional Neural Network (CNN) para determinar se nas regiões analisadas possuem capacetes ou coletes.
(Yu et al., 2019)	Propõe um novo método não intrusivo para monitorar a fadiga física de corpo inteiro de trabalhadores da construção civil, utilizando um algoritmo de captura de movimento de movimento 3D baseado em visão computacional.
(Zhang et al., 2022)	Utiliza a tecnologia Deep Learning para detectar em tempo real o stress, fundindo eletrocardiograma, voz e expressões faciais. Para validar a eficácia da estrutura, um experimento psicológico bem estabelecido, a Montreal Imaging Stress Task (MIST), foi aplicada neste trabalho.
Z(hu et al., 2022)	A pesquisa busca integrar Veículos Aéreos não Tripulados (UAV) com técnicas de Inteligência Artificial para estabelecer uma plataforma de monitoramento de segurança na construção de estradas, incluindo os trabalhadores, veículos, sinalização de segurança e guarda corpos.
(Zimelman e Keefe, 2021)	Avalia se o uso de um smartwatch para quantificar as atividades dos trabalhadores que laboram em atividades de perfilagem de cabos, montagem e desconexão de gargantilhas de toras, onitorando para a prevenção de ferimentos como quedas de árvores, galhos ou máquinas. Foi usado Random Forest Machine Learning para desenvolver modelos preditivos de classificação

Dos 31 trabalhos selecionados para a leitura na íntegra, 45% (14) foram publicados no ano de 2022, seguidos por 29% (9) publicados em 2021, 19% (6) em 2020, 3% (1) em 2019 e 3% (1) em 2018 (fig. 2).

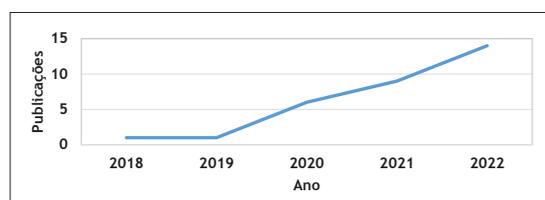


Fig. 2 - Artigos selecionados após aplicação da estratégia de busca.

Fig. 2 - Articles selected after application of applying the search strategy.

Amajoria dos artigos foi publicada em 2022, evidenciando que o assunto ganha importância com o passar dos anos.

No que tange a filiação dos autores referentes aos artigos selecionados, foram identificadas 43 nacionalidades diferentes. Cabe ressaltar que alguns artigos possuem mais de um autor de diferentes nacionalidades. Dessas, 16% (7) são chineses, 14% (6) dos Estados Unidos e 9% (4)

da Coreia do Sul. Já Espanha, Japão e Polônia perfazem 7% (3) cada, enquanto Austrália, Itália e Taiwan estão presentes em 5% (2) cada. As demais nacionalidades foram citadas apenas uma vez cada, totalizando 26% (11) e distribuídos (fig. 3).

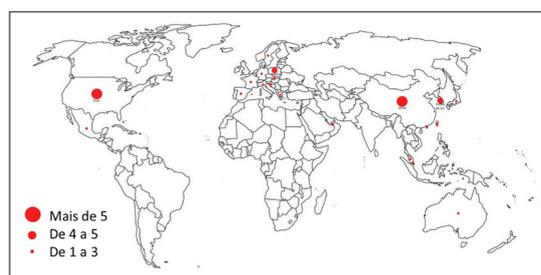


Fig. 3 - Mapeamento da filiação dos autores cujos trabalhos foram selecionados.

Fig. 3 - Map of the affiliation of the authors whose works were selected.

Há um certo equilíbrio entre as publicações em países desenvolvidos 52% (16), enquanto 48% (15) artigos selecionados foram produzidos em países em

desenvolvimento, considerando para essa classificação o Índice de Desenvolvimento Humano - IDH. (PNUD, 2019).

No mapa apresentado na fig. 3, é possível perceber que China e EUA possuem o maior número de publicações, sendo que na Europa, há uma certa “pulverização” de publicações em diversos países como Eslováquia, França e Grécia, entre outros.

Apresentamos a nuvem de palavras que foi obtida a partir das palavras-chave dos 31 artigos selecionados (fig. 4), por meio do software *Pro Word Cloud*. Quanto maior a palavra apresentada na figura, maior a frequência com que ela foi usada nos artigos obtidos.



Fig. 4 - Nuvem de palavras obtida a partir das palavras-chave dos artigos selecionados.

Fig. 4 - Word cloud obtained from the keywords of the selected articles.

Baseado na fig. 4, observa-se que as palavras mais recorrentes nos artigos foram *Deep Learning*, *Artificial Intelligence* e *Machine Learning*. Outras palavras relacionadas à temática também foram citadas em menor proporção, como *Fatigue*, *Detection*, *Risk*, entre outras.

Além dos termos mais citados, almejou-se conhecer quais os artigos mais citados dentre os pesquisadores. A partir da métrica *Google Scholar Metrics* foram selecionados os 5 principais (TABELA V)

TABELA V - Os cinco artigos mais citados a partir da métrica *Google Scholar Metrics*.

TABLE V - The five most cited articles based on the *Google Scholar Metrics* metric.

Referência (Autor/Ano)	Título	Nº de Citações
Yu et al. (2019)	An automatic and non-invasive physical fatigue assessment method for construction workers	87
Manan et al. (2020)	A data analytic framework for physical fatigue management using wearable sensors	63
Campero-Jurado et al. (2020)	Smart helmet 5.0 for industrial internet of things using artificial intelligence	44
Kim et al. (2020)	Towards database-free vision-based monitoring on construction sites: A deep active learning approach	38
(CAI et al., 2020)	A context-augmented deep learning approach for worker trajectory prediction on unstructured and dynamic construction sites	23

Todos os demais trabalhos selecionados possuem menos de 24 citações até a data que foi feita a pesquisa.

3ª Desenvolvimento e adoção de um sistema de classificação;

Baseado na literatura analisada, conforme modelagem de classificação proposta por (Fiorini et., al 2017); (Chuerubim, 2019), foi feita uma classificação taxonômica com o objetivo de categorizar os 31 artigos selecionados. Essa classificação foi baseada em 7 dimensões que foram categorizadas por letras e números (TABELA VI).

Foi proposta esta classificação e codificação para se extrair o máximo de informações das pesquisas selecionadas, facilitando o entendimento da abrangência dos artigos.

Mostramos a mostra a classificação taxonômica dos 31 artigos selecionados (TABELA VII), considerando a classificação e codificação proposta conforme (TABELA VI).

Dimensões analisadas

Em relação à área de concentração, relativa à segurança, as soluções podem ser para a segurança individual, ou seja, aquela que aborda a questão de EPI (55 % (17)), enquanto outras pesquisas usam a aplicação da IA nos ambientes de trabalho na proteção coletiva (16% (5)), apesar de alguns artigos abordarem os dois tipos de proteção preventiva nos ambientes de trabalho (29% (9)) (fig. 5).

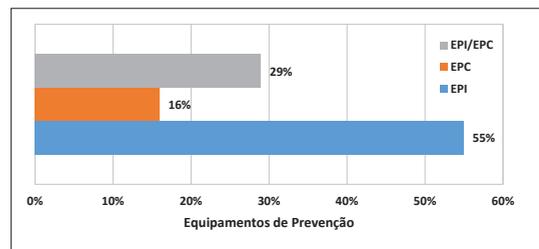


Fig. 5 - Classificação da proteção.

Fig. 5 - Protection classification.

Para aos métodos de pesquisa utilizados nos trabalhos selecionados, o número de artigos de características quantitativa, é o mesmo para pesquisa qualitativa 35%

TABELA VI - Estrutura de classificação e codificação dos artigos analisados.

TABLE VI - Structure of classification and codification of the articles analysed.

Classificação	Abrangência	Categorias para Codificação
1	Contexto	A - País desenvolvido B - País em desenvolvimento C - Não se aplica
2	Área de concentração	A - Segurança Individual B - Segurança Coletiva C - Prevenção/Predição de acidentes
3	Método de pesquisa	A - Quantitativa B - Qualitativa C - Estudo de caso
4	Setor analisado	A - Manufatura B - Construção C - Outros D - Não se aplica
5	Benefícios de desempenho	A - Segurança B - Saúde
6	Tipo de IA	A - Machine Learning B - Deep Learning
7	Ferramenta/Técnica/Método/Algoritmo utilizado	A - Direct Linear Transformation B - Random Forest C - Decision-Making D - Decision Tree - C4.5 E - Convolutional Neural Network F - Gated Recurrent Unit G - Deep Neural Network H - Speeded Up Robust Features I - You Only Look Once J - Faster R - CNN K - Single Shot Detector L - K-Means M - Logic Regression

(11 cada). Foram 13% (4) artigos classificados como estudo de caso, 10% (3) artigos com características de pesquisa qualitativa e quantitativa, além de 7% (2) possuírem características de estudo de caso em conjunto com pesquisa quantitativa (fig. 6).

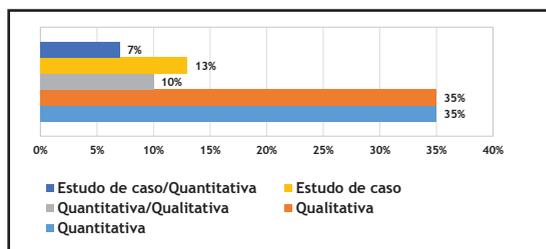


Fig. 6 - Método de pesquisa.

Fig. 6 - Research method.

Em relação aos setores de atuação das organizações onde foram desenvolvidas as pesquisas, o destaque foi para a indústria da construção, com 39% (12) das publicações, sendo seguida pelo setor de manufatura, com 10% (3). Já 19% (6) foram classificados como outros, por envolver áreas ou atividades específicas como câmeras de monitoramento, detecção de movimentos, setor de perfuração *offshore*, entre outros. Os demais trabalhos não envolviam ou não identificaram um setor específico de aplicação 32% (10) (fig. 7).

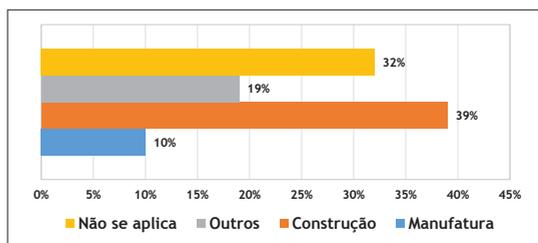


Fig. 7 - Setor analisado.

Fig. 7 - Sector analysed.

Partindo para a análise dos benefícios de desempenho, a maioria dos artigos 77% (24) envolve a questão da segurança do trabalho, enquanto 16% (5) trataram diretamente da saúde do trabalho, como levantamento de peso e detecção de fadiga. Os outros 7% (2) possuem características tanto de preservação da saúde quanto da segurança do trabalhador (fig 8).

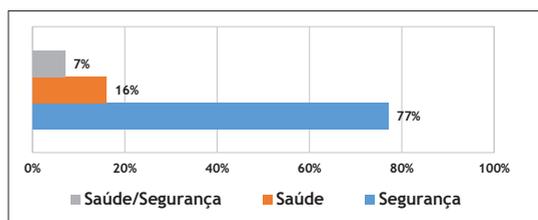


Fig. 8 - Benefícios de desempenho.

Fig. 8 - Performance benefits.

TABELA VII - Estrutura de classificação e codificação dos artigos analisados.

TABLE VII - Structure of classification and codification of the articles analyzed.

Estudo	Contexto	Classificação da proteção	Método de pesquisa	Setor analisado	Benefícios de desempenho	Tipo de IA	Ferramenta/ Técnica/ Método/ Algoritmo utilizado
Aaoki et al. (2021)	1A	2A, 2B	3B	4B	5A	6B	7A
Balakreshnan et al. (2020)	1A	2A	3C	4A	5A	6B	7C
Bonifazi et al. (2022)	1A	2A	3C	4D	5A	6A	7B, 7D
Cai et al. (2020)	1A	2B	3A, 3B	4B	5A	6B	7A
Campero-Jurado et al. (2020)	1A	2A	3A	4C	5A	6B	7E
Chang et al. (2022)	1B	2A, 2B	3A	4B	5A	6B	7F
Cho et al. (2022)	1B	2B	3B	4C	5A	6B	7G
Costanzo et al. (2022)	1A	2A, 2B	3B	4A	5A	6A	7E
De Oliveira et al. (2018)	1A	2A, 2B	3B	4C	5A	6B	7E
Deng et al. (2021)	1B	2A, 2B	3A, 3B	4B	5A	6A	7H
Fang et al. (2022)	1A	2A, 2B	3A, 3C	4B	5A	6B	7E
Gong et al. (2021)	1B	2A	3A	4C	5A	6B	7I
Gradolewski et al. (2020)	1A	2A, 2B	3A, 3B	4D	5A	6A	7I
Kim et al. (2020)	1B	2B	3A	4B	5A	6B	7J, 7K, 7I
Liang e Seo, (2022)	1B	2A	3A	4B	5A	6B	7E
Makris e Aivaliotis, (2022)	1B	2A, 2B	3C	4D	5A	6A	7E
Maman et al. (2020)	1A	2A	3C	4A	5A, 5B	6A	7M
Marquez-Sanchez et al. (2021a)	1A	2A	3A	4D	5B	6A	7L
Marquez-Sanchez et al. (2021b)	1A	2A	3A	4D	5A	6A	7E
Otgonbold et al. (2022)	1B	2A	3B	4B	5A	6B	7J, 7I
Pan et al. (2022)	1B	2A	3B	4D	5B	6B	7I
Park et al. (2022)	1B	2A, 2B	3B	4B	5A	6B	7E
Sága et al. (2021)	1B	2B	3B	4C	5A	6B	7E
Tan et al. (2021)	1A	2A	3A	4D	5A	6A	7M
Thomas et al. (2022)	1A	2A	3B	4D	5B	6A	7E
Vukicevic et al. (2022)	1B	2A	3B	4D	5A	6B	7I
Xiong e Tang (2021)	1A	2A	3A	4B	5A	6B	7I
Yu et al. (2019)	1B	2A	3A	4B	5B	6B	7E
Zhang et al. (2022)	1B	2A	3A	4D	5B	6B	7E
Zhu et al. (2022)	1B	2B	3B	4B	5A	6B	7E
Zimelman e Keefe (2021)	1A	2A	3A, 3C	4C	5A, 5B	6A	7B

Na perspectiva do tipo de ferramenta/solução de IA explorada na pesquisa, nota-se que a maior parcela dos artigos selecionados 65% (20) utiliza *Deep Learning* para atingir os objetivos propostos, enquanto 35% (11) fizeram uso do *Machine Learning*.

Para (Liu, 2019), os modelos de *deep learning* estão desempenhando um papel cada vez mais importante e se tornaram uma excelente direção de estudo. Comparando com *machine learning*, os modelos de *deep learning* possuem habilidades de ajuste e generalização mais fortes (fig. 9).

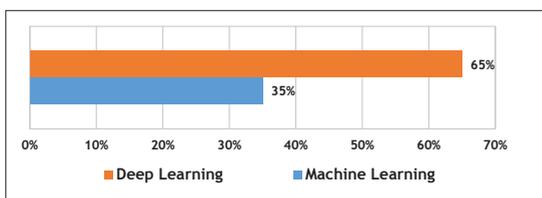


Fig. 9 - Tipo de IA.

Fig. 9 - Type of AI.

Em relação as ferramentas, técnicas, método e/ou algoritmo utilizados na pesquisa, alguns artigos citaram claramente qual algoritmo utilizado, outras

citaram o subconjunto (fig. 10), como subconjunto de *Machine Learning*, ou a rede neural *Convolutional Neural Network*. Este subconjunto é citado em grande parte dos artigos selecionados (39%). Os demais estão pulverizados, alguns citando, por exemplo, o algoritmo utilizado, como *You Only Look Once* (23%), que utiliza *Convolutional Neural Network*.

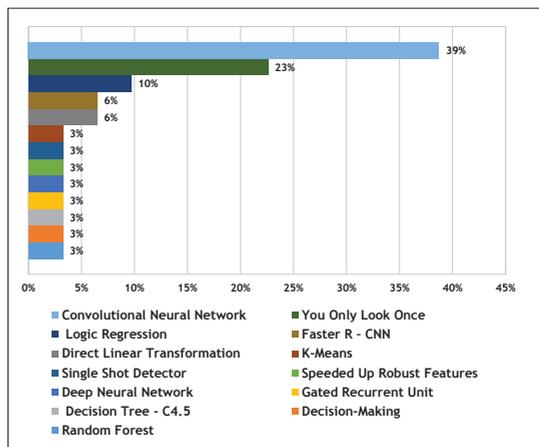


Fig. 10 - Ferramenta, técnica, método e/ou algoritmo.

Fig. 10 - Tool, technique, method and/or algorithm.

4ª Visão geral da produção científica

O levantamento sistemático das pesquisas mostrou que há muitos artigos relativos ao ramo da construção (Aaoki *et al.*, 2021); (Cai *et al.*, 2020); (Chang *et al.*, 2022); (Deng *et al.*, 2021); (Fang *et al.*, 2022); (Kim *et al.*, 2020); (Liang e Seo, 2022); (Otgonbold *et al.*, 2022); (Park *et al.*, 2022); (Xiong e Tang, 2021); (Yu *et al.*, 2019); (Zhu *et al.*, 2022). Isso evidencia a preocupação mundial com o grande número de acidentes nesse setor. De acordo com (Ensslin *et al.*, 2022) a construção civil é um dos setores mundiais que mais registra acidentes de trabalho, deixando um legado de trabalhadores mortos ou lesionados. Ocorrem 60.000 acidentes fatais no mundo relacionados ao setor da construção, sendo que de cada 6 acidentes fatais, um ocorre no setor da construção civil (OIT, 2022). No Brasil, dos 2.934.155 acidentes de trabalho registrados de 2015 a 2019, 174.185 acidentes, ou seja, 5,9% aconteceram na indústria da construção (Bento, 2015-2019).

Vale citar também algumas pesquisas desenvolvidas em outros setores, como (Costanzo *et al.*, 2022), que pesquisou o controle da velocidade de robôs colaborativos em ambientes laborais onde há trabalhadores, (Maman *et al.*, 2020) que faz abordagem analítica de dados para gerenciar a fadiga de trabalhadores nos ambientes de trabalho e (Sága *et al.*, 2021), que propõe o desenvolvimento de um diagnóstico automatizado e sistema de inspeção baseado em inteligência artificial, visando a eliminação dos riscos. Em relação às técnicas de IA usadas nas pesquisas, a *Convolutional Neural Network* foi a mais citada diretamente (Campero-Jurado *et al.*, 2020); (Fang *et al.*, 2022); (Liang e Seo, 2022); (Makris e Aivaliotis, 2022); (Marquez-Sanchez *et al.*, 2021b); (Park *et al.*, 2022); (Sága *et al.*, 2021); (Thomas *et al.*, 2022); (Yu *et al.*, 2019); (Zhang *et al.*, 2022); (Zhu *et al.*, 2022).

Outro fator a ser destacado na produção científica analisada é em relação ao uso de uma ferramenta para a detecção de objetos, no qual 23% (7) dos artigos selecionados citaram o uso do algoritmo *You Only Look Once* (Gong *et al.*, 2021); (Gradolewski *et al.*, 2020); (Kim *et al.*, 2020); (Otgonbold *et al.*, 2022); (Pan *et al.*, 2022); (Vukicevic *et al.*, 2022); (Xiong e Tang, 2021). Este algoritmo é famoso por suas características na detecção de objetos (Jiang, 2022).

5ª Identificação das lacunas na literatura

A presente RSL visou identificar artigos que abordassem o uso da IA na segurança do trabalho, para a prevenção de acidentes. Apesar de diversas pesquisas abordarem o uso da IA nos ambientes de trabalho, ainda são pouco expressivas as publicações que buscam o uso dessa tecnologia para prevenir acidentes de trabalho. Dos 31 artigos selecionados para a RSL, algumas soluções apresentadas podem ser aplicadas em outros setores,

com as devidas adaptações, principalmente em relação ao uso de EPI (Balakreshnan *et al.*, 2020); (Gong *et al.*, 2021); (Liang e Seo, 2022); (Marques-Sanchez *et al.*, 2021b); (Otgonbold *et al.*, 2022); (Tan *et al.*, 2021); (Vukicevic *et al.*, 2022); (Xiong e Tang, 2021).

A quase totalidade das pesquisas envolve imagens que são geradas por câmeras, e a partir daí, é aplicada a IA para a identificação de não conformidades. Alguns trabalhos trazem certas inovações no monitoramento dos trabalhadores, como o uso de *smartwatch* (Zimbelman e Keefe, 2021) ou de pulseiras (Marques-Sanchez *et al.*, 2021^a); (Marques-Sanchez *et al.*, 2021b). Espera-se um aumento desse tipo de tecnologia em trabalhos futuros, pela facilidade de aquisição de dados dos trabalhadores.

Conclusão

A revisão apresentada mostra que houve um aumento considerável do número de pesquisas em 2022 comparado aos anos anteriores, o que indica também o crescimento no interesse dos pesquisadores acerca do tema. As pesquisas também abrem uma grande oportunidade para a aplicação da IA não só para o aumento da produção, mas também com um olhar na segurança das pessoas nos ambientes de trabalho. China e EUA concentram um grande número de pesquisas, sendo que vários países da Europa também já começam a se destacar em número de publicações.

O setor da construção civil se destaca como um dos ramos que apresentam atividades com possibilidade de aplicação da IA em seus ambientes. A detecção do uso de equipamentos de proteção individual utilizando a IA também atraiu muitas publicações. As técnicas *Machine Learning* e *Deep Learning* são os tipos de IA usadas na concepção das pesquisas.

Alguns artigos abordaram o monitoramento dos trabalhadores por meio de dispositivos que usam a IA, sendo estes monitorados durante todo o período de trabalho. A detecção de objetos nos ambientes de trabalho também foi abordada em algumas pesquisas, o que demonstra que esse tipo de controle será a cada dia mais aplicado nos ambientes de trabalho.

Como limitação da pesquisa, diante da grande variedade de possibilidades de melhoria que a IA pode trazer para os ambientes laborais, ainda é baixo o número de artigos que têm como foco a segurança de pessoas nos ambientes de trabalho com a aplicação da IA. Com o avanço da tecnologia e das pesquisas, no futuro essa limitação deve não ser mais relevante.

Como sugestão para pesquisas futuras, sugere-se buscar diferentes bases de dados, na tentativa de encontrar outras pesquisas que aplicam a IA nos ambientes de trabalho buscando a prevenção de acidentes.

Agradecimentos

Este trabalho faz parte do P&D 04950-0661/2022 - Sistema Integrado de Visão Computacional para Proteção à Receita e Segurança do Trabalho financiado pela ANEEL, desenvolvido pela Cemig.

Referências

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL (AEPS). (2019). Recuperado de: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/dados-de-acidentes-do-trabalho>. Acesso em 30 de dezembro 2022.
- Aoki, K., Nishikawa, H., Makihara, Y., Muramatsu, D., Takemura, N., & Yagi, Y. (2021). Physical Fatigue Detection From Gait Cycles via a Multi-Task Recurrent Neural Network. *IEEE Access*, 9, 127565-127575.
- Balakreshnan, B., Richards, G., Nanda, G., Mao, H., Athinarayanan, R., & Zaccaria, J. (2020). PPE compliance detection using artificial intelligence in learning factories. *Procedia Manufacturing*, 45, 277-282.
- Bento, C. R., Cusioli, L. F., Rezende, D., & Mantovani, D. Quantitativo de acidentes de trabalho na construção civil de 2015-2019 no Brasil: Uma revisão. *A engenharia de segurança do trabalho e suas diversidades aplicadas na prática* Volume, 25.
- Bonifazi, G., Corradini, E., Ursino, D., Virgili, L., Anceschi, E., & De Donato, M. C. (2022). A machine learning based sentient multimedia framework to increase safety at work. *Multimedia tools and applications*, 81(1), 141-169.
- Cai, J., Zhang, Y., Yang, L., Cai, H., & Li, S. (2020). A context-augmented deep learning approach for worker trajectory prediction on unstructured and dynamic construction sites. *Advanced Engineering Informatics*, 46, 101173.
- Campero-Jurado, I., Márquez-Sánchez, S., Quintanar-Gómez, J., Rodríguez, S., & Corchado, J. M. (2020). Smart helmet 5.0 for industrial internet of things using artificial intelligence. *Sensors*, 20(21), 6241.
- Chang, C. H., Chuang, M. L., Tan, J. C., Hsieh, C. C., & Chou, C. C. (2022). Indoor safety monitoring for falls or restricted areas using wi-fi channel state information and deep learning methods in mega building construction projects. *Sustainability*, 14(22), 15034.
- Cho, H., Lee, K., Choi, N., Kim, S., Lee, J., & Yang, S. (2022). Online Safety Zone Estimation and Violation Detection for Nonstationary Objects in Workplaces. *IEEE Access*, 10, 39769-39781.
- Chuerubim, M. L., & Silva, I. D. (2019). Possibilidades em inteligência artificial na detecção de padrões e previsão de acidentes em rodovias.
- Clifford, C. (2018), "Google CEO: a.i. is more important than fire or electricity". Recuperado de: www.cnbc.com/2018/02/01/google-ceo-sundar-pichai-ai-is-more-important-than-fire-electricity.html.
- Costanzo, M., De Maria, G., Lettera, G., & Natale, C. (2021). A multimodal approach to human safety in collaborative robotic workcells. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 19(2), 1202-1216.
- de Camargo Fiorini, P., & Jabbour, C. J. C. (2017). Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going. *International Journal of Information Management*, 37(4), 241-249.
- de Oliveira, C. S., Sanin, C., & Szczerbicki, E. (2018). Contextual knowledge to enhance workplace hazard recognition and interpretation in a cognitive vision platform. *Procedia Computer Science*, 126, 1837-1846.
- Deng, H., Ou, Z., & Deng, Y. (2021). Multi-angle fusion-based safety status analysis of construction workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22), 11815.
- Ensslin, L., Gonçalves, A., Dutra, A., & Ensslin, S. R. Gestão de Riscos de Acidentes de Trabalho na Indústria da Construção Civil: Revisão Bibliográfica. *Gestão e Desenvolvimento em Revista*, 9(1), 59-80.
- Fang, W., Love, P. E., Luo, H., & Xu, S. (2022). A deep learning fusion approach to retrieve images of People's unsafe behavior from construction sites. *Developments in the Built Environment*, 12, 100085.
- Golcarenenrenji, G., Martinez-Alpiste, I., Wang, Q., & Alcaraz-Calero, J. M. (2022). Machine-learning-based top-view safety monitoring of ground workforce on complex industrial sites. *Neural Computing and Applications*, 1-14.
- Gnoni, M. G., Bragatto, P. A., Milazzo, M. F., & Setola, R. (2020). Integrating IoT technologies for an "intelligent" safety management in the process industry. *Procedia manufacturing*, 42, 511-515.
- Gong, F., Ji, X., Gong, W., Yuan, X., & Gong, C. (2021). Deep learning based protective equipment detection on offshore drilling platform. *Symmetry*, 13(6), 954.
- Gradolewski, D., Maslowski, D., Dziak, D., Jachimczyk, B., Mundlamuri, S. T., Prakash, C. G., & Kulesza, W. J. (2020). A distributed computing real-time safety system of collaborative robot. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 26(2), 4-14.

- Groenner, L. C., de Faria, L. I. L., Perissini, R. C., & de Souza Gracioso, L. (2022). Um estudo bibliométrico sobre a pesquisa em inteligência artificial no Brasil. *Brazilian Journal of Information Science*, 16(1), 7.
- Halbouni, A., Gunawan, T. S., Habaebi, M. H., Halbouni, M., Kartiwi, M., & Ahmad, R. (2022). Machine learning and deep learning approaches for cybersecurity: A review. *IEEE Access*.
- Jabbour, C. J. C. (2013). Environmental training in organisations: From a literature review to a framework for future research. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 144-155.
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073.
- Junior, J. A. G., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., & Carreão, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process safety and environmental protection*, 117, 372-382.
- Kim, J., Hwang, J., Chi, S., & Seo, J. (2020). Towards database-free vision-based monitoring on construction sites: A deep active learning approach. *Automation in Construction*, 120, 1033.
- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, 51(1), 7-15.
- Li, Y., Wei, H., Han, Z., Huang, J., & Wang, W. (2020). Deep learning-based safety helmet detection in engineering management based on convolutional neural networks. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 1-10.
- Liang, H., & Seo, S. (2022). Automatic detection of construction workers' helmet wear based on lightweight deep learning. *Applied Sciences*, 12(20), 10369.
- Liu, H., & Lang, B. (2019). Machine learning and deep learning methods for intrusion detection systems: A survey. *applied sciences*, 9(20), 4396.
- Magarey, J. M. (2001). Elements of a systematic review. *International Journal of Nursing Practice*, 7(6), 376-382.
- Makris, S., & Aivaliotis, P. (2022). AI-based vision system for collision detection in HRC applications. *Procedia CIRP*, 106, 156-161.
- Maman, Z. S., Chen, Y. J., Baghdadi, A., Lombardo, S., Cavuoto, L. A., & Megahed, F. M. (2020). A data analytic framework for physical fatigue management using wearable sensors. *Expert Systems with Applications*, 155, 113405.
- Márquez-Sánchez, S., Campero-Jurado, I., Robles-Camarillo, D., Rodríguez, S., & Corchado-Rodríguez, J. M. (2021). Besafe b2. O smart multisensory platform for safety in workplaces. *Sensors*, 21(10), 3372.
- Márquez-Sánchez, S., Campero-Jurado, I., Herrera-Santos, J., Rodríguez, S., & Corchado, J. M. (2021). Intelligent platform based on smart PPE for safety in workplaces. *Sensors*, 21(14), 4652.
- McCarthy, J. (1959). *Programs with common sense*.
- Moore, P. (2020). Inteligencia artificial en el entorno laboral. Desafíos para los trabajadores. Universidad de Leicester. Recuperado de: <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/inteligencia-artificial-en-entorno-laboral-desafios-para-trabajadores>
- Mulrow, C. D., Cook, D. J., & Davidoff, F. (1997). Systematic reviews: critical links in the great chain of evidence. *Annals of internal medicine*, 126(5), 389-391.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Framework for Classifying AI systems*, (2022). Recuperado de: <http://oecd.ai/classification>
- ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). (2021) Recuperado de: https://www.ilo.org/brasilia/noticias/WCMS_820318/lang-pt/index.htm
- ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). Recuperado de: https://www.ilo.org/brasilia/noticias/WCMS_848148/lang-pt/index.htm
- Otgonbold, M. E., Gochoo, M., Alnajjar, F., Ali, L., Tan, T. H., Hsieh, J. W., & Chen, P. Y. (2022). SHEL5K: An extended dataset and benchmarking for safety helmet detection. *Sensors*, 22(6), 2315.
- Pan, L., Yan, C., Zheng, Y., Fu, Q., Zhang, Y., Lu, Z., ... & Tian, J. (2023). Fatigue detection method for UAV remote pilot based on multi feature fusion. *Electronic Research Archive*, 31(1), 442-466.
- Park, C., Lee, D., & Khan, N. (2020, July). An analysis on safety risk judgment patterns towards computer vision based construction safety management. In *Creative Construction e-Conference 2020* (pp. 31-38). Budapest University of Technology and Economics.
- Park, J., Lee, H., & Kim, H. Y. (2022). Risk factor recognition for automatic safety management in construction sites using fast deep convolutional neural networks. *Applied Sciences*, 12(2), 694.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. (2019). Recuperado de: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2019ptpdf.pdf>. Acesso em 06 de março 2023.

- Sága, M., Bartoš, M., Bulej, V., Stanček, J., & Wiecek, D. (2021). Development of an automated diagnostic and inspection system based on artificial intelligence designed to eliminate risks in transport and industrial companies. *Transportation Research Procedia*, 55, 805-813.
- Saliba, T. M., & de Freitas Lanza, M. B. (2018). *Curso básico de segurança e higiene ocupacional*. LTR Editora Ltda.
- SOCIEDAD ESPAÑOLA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO (ESST) (2018), El Uso de Sistemas de Inteligencia Artificial Para Reducir la Siniestralidad en el Trabajo. Recuperado de: <https://www.sesst.org/e-prevenir-a-predecirel-uso-de-sistemas-de-inteligencia-artificial-para-reducir-lasiniestralidad-en-el-trabajo/>
- Shadroo, S., & Rahmani, A. M. (2018). Systematic survey of big data and data mining in internet of things. *Computer Networks*, 139, 19-47.
- Tan, Y. H., Hitesh, A., & Li, K. H. H. (2021). Application of machine learning algorithm on mems-based sensors for determination of helmet wearing for workplace safety. *Micromachines*, 12(4), 449.
- Teixeira, R. L. P., Teixeira, C. H. S. B., de Araujo Brito, M. L., & Silva, P. C. D. (2019). Os discursos acerca dos desafios da siderurgia na indústria 4.0 no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 5(12), 28290-28309.
- Thomas, B., Lu, M. L., Jha, R., & Bertrand, J. (2022). Machine Learning for Detection and Risk Assessment of Lifting Action. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 52(6), 1196-1204.
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. by Springer Nature.
- Villalobos, M. (2019). Modelo Predictivo de Factores de Riesgos Laborales con uso de Inteligencia Artificial. *Fundación Científica y Tecnológica (ACHS). Asociación Chilena de Seguridad. Santiago, Chile. Informe Final Proyecto*, 31.
- Vukicevic, A. M., DJapan, M., Isailovic, V., Milasinovic, D., Savkovic, M., & Milosevic, P. (2022). Generic compliance of industrial PPE by using deep learning techniques. *Safety science*, 148, 105646.
- Xiong, R., & Tang, P. (2021). Pose guided anchoring for detecting proper use of personal protective equipment. *Automation in Construction*, 130, 103828.
- Yu, Y., Li, H., Yang, X., Kong, L., Luo, X., & Wong, A. Y. (2019). An automatic and non-invasive physical fatigue assessment method for construction workers. *Automation in construction*, 103, 1-12.
- Zhang, J., Yin, H., Zhang, J., Yang, G., Qin, J., & He, L. (2022). Real-time mental stress detection using multimodality expressions with a deep learning framework. *Frontiers in Neuroscience*, 16.
- Zhu, C., Zhu, J., Bu, T., & Gao, X. (2022). Monitoring and Identification of Road Construction Safety Factors via UAV. *Sensors*, 22(22), 8797.
- Zimbelman, E. G., & Keefe, R. F. (2021). Development and validation of smartwatch-based activity recognition models for rigging crew workers on cable logging operations. *PLoS One*, 16(5), e0250624.