REVISTA OWL (*OWL Journal*)
www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

TECNOLOGIAS E ESTRATÉGIAS PREVENTIVAS NA REDUÇÃO DOS RISCOS OCUPACIONAIS EM ATIVIDADES DE TRABALHO EM ALTURA E ACESSO POR CORDA: CONTRIBUIÇÕES DOS EXOESQUELETOS PASSIVOS E DAS TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO

PREVENTIVE TECHNOLOGIES AND STRATEGIES FOR REDUCING OCCUPATIONAL RISKS IN WORK AT HEIGHT AND ROPE ACCESS ACTIVITIES: CONTRIBUTIONS FROM PASSIVE EXOSKELETONS AND MONITORING TECHNOLOGIES

DOI: 10.5281/zenodo.24095153

Abdallah Salomão Arcoverde[1]
Nedilson José Gomes de Melo[2]
Marcelo Bonfim Neves de Sá[3]
Caio César da Silva[4]
Arismar Estevão Guedes Ramos[5]
Klebeson Jonnatas de Almeida Araújo[6]
Jhonny do Nascimento Silva[7]

1 Doutorando em Educação, Universidad Autónoma de Asunción, UAA, Paraguai.
2 Engenheiro de Segurança do Trabalho e Doutorando em Educação, Universidad Autónoma de Asunción, UAA, Paraguai.
3 Doutorando em Educação, Universidad Autónoma de Asunción, UAA, Paraguai.
4 Pós-Graduação em Saúde Pública, Faculdade de Integração do Sertão, FIS, Brasil.
5 Engenheiro de Segurança do Trabalho e Doutorando e em Engenharia de Materias, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.
6 Mestrando em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN. Brasil.
7 Cursando Técnico em Controle Ambiental, Instituto Federal da Paraíba, NEAL/IFPB, Brasil.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

RESUMO

As atividades desenvolvidas em altura e aquelas realizadas mediante técnicas de acesso por corda apresentam elevada complexidade operacional e exigem planejamento, capacitação, supervisão e adoção de medidas de controle compatíveis com os riscos presentes em cada tarefa. Embora os sistemas de proteção contra quedas constituam elementos essenciais para a prevenção de acidentes, fatores ergonômicos e humanos, como esforço físico, sobrecarga musculoesquelética, posturas mantidas, fadiga física e mental e redução da atenção, também podem comprometer a segurança das operações. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias vestíveis, sensores, sistemas de monitoramento e dispositivos de assistência física, especialmente os exoesqueletos passivos, amplia as possibilidades de atuação preventiva na Segurança e Saúde no Trabalho. Este artigo tem como objetivo analisar as contribuições, limitações e possibilidades de aplicação dessas tecnologias em atividades de trabalho em altura e acesso por corda. Foi realizada uma revisão qualitativa e exploratória de literatura científica e documentos técnicos, priorizando publicações entre 2021 e 2026. A análise evidencia que os exoesqueletos passivos podem auxiliar na redução de determinadas demandas biomecânicas e musculares, principalmente em tarefas que envolvem repetitividade ou manutenção prolongada de posturas. Da mesma forma, dispositivos vestíveis e sistemas de análise de dados apresentam potencial para identificar indicadores associados à fadiga e à redução da atenção. Entretanto, a adoção dessas soluções requer avaliação criteriosa, pois alterações na mobilidade, postura, centro de massa e interação com equipamentos de proteção podem introduzir novos riscos. Conclui-se que as tecnologias analisadas podem fortalecer as estratégias de prevenção quando incorporadas de forma planejada ao gerenciamento de riscos ocupacionais, sem substituir medidas de proteção coletiva, equipamentos de proteção individual, procedimentos operacionais, supervisão e capacitação profissional.

Palavras-chave: Segurança do Trabalho. Trabalho em Altura. Acesso por Corda. Exoesqueletos Passivos. Fadiga Ocupacional. Tecnologias Vestíveis. Atenção Humana.

ABSTRACT

Work activities performed at height and those carried out using rope access techniques involve a high degree of operational complexity and require planning, training, supervision, and the implementation of control measures appropriate to the risks present in each task. Although fall protection systems are essential elements in accident prevention, ergonomic and human factors, such as physical exertion, musculoskeletal overload, sustained postures, physical and mental fatigue, and reduced attention, can also compromise operational safety. In this context, the development of wearable technologies, sensors, monitoring systems, and physical assistance devices, particularly passive exoskeletons, expands the possibilities for preventive action in Occupational Safety and Health. This article aims to analyze the contributions, limitations, and potential applications of these technologies in work-at-height and rope-access activities. A qualitative and exploratory review of scientific literature and technical documents was conducted, prioritizing publications from 2021 to 2026. The analysis indicates that passive exoskeletons can assist in reducing certain biomechanical and muscular demands, particularly in tasks involving repetitive movements or prolonged maintenance of specific postures. Similarly, wearable devices and data analysis systems show potential for identifying indicators associated with fatigue and reduced attention. However, the adoption of these solutions requires careful assessment, as changes in mobility, posture, center of mass, and interaction with

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

personal protective equipment may introduce new risks. It is concluded that the technologies analyzed can strengthen prevention strategies when systematically incorporated into occupational risk management, without replacing collective protective measures, personal protective equipment, operating procedures, supervision, or professional training.

Keywords: Occupational Safety. Work at Height. Rope Access. Passive Exoskeletons. Occupational Fatigue. Wearable Technologies. Human Attention.

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico vem modificando significativamente os processos produtivos e criando novas possibilidades para o gerenciamento dos riscos ocupacionais. Na área de Segurança e Saúde no Trabalho, sensores, dispositivos vestíveis, sistemas inteligentes de análise de dados e tecnologias de assistência física passaram a ser considerados recursos capazes de complementar estratégias tradicionais de prevenção. Essa transformação assume especial importância em atividades caracterizadas por elevado potencial de acidentes, como aquelas realizadas em altura e por meio de técnicas de acesso por corda.

O trabalho em altura envolve condições nas quais uma eventual queda pode provocar consequências graves ou fatais. Por essa razão, a realização dessas atividades requer planejamento, avaliação prévia das condições de trabalho, seleção adequada de equipamentos, procedimentos operacionais, capacitação e supervisão. Quando o trabalho é executado mediante acesso por corda, acrescentam-se fatores como suspensão do trabalhador, limitação de movimentos, utilização simultânea de ferramentas e equipamentos de segurança, necessidade de posicionamento corporal adequado e possibilidade de exposição a condições ambientais adversas.

A prevenção, entretanto, não deve concentrar-se exclusivamente na possibilidade de queda. O desempenho seguro do trabalhador também pode ser influenciado pela exigência física da tarefa, repetitividade, manutenção prolongada de posturas, sobrecarga musculoesquelética, fadiga e redução da atenção. Em atividades nas quais decisões rápidas podem ser determinantes para a preservação da integridade física, a combinação desses fatores merece atenção especial.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

Nesse cenário, os exoesqueletos passivos surgem como uma possibilidade de assistência ergonômica, podendo contribuir para redistribuir cargas e reduzir determinadas demandas musculares. Paralelamente, sensores e dispositivos vestíveis permitem o acompanhamento de variáveis relacionadas ao movimento e a respostas fisiológicas, criando possibilidades de identificação de padrões associados à fadiga física ou mental. Sistemas baseados em análise de dados e inteligência artificial também podem auxiliar na interpretação dessas informações e na emissão de alertas preventivos.

Entretanto, a introdução de uma nova tecnologia não significa, automaticamente, redução do risco ocupacional. Um dispositivo que diminua determinada demanda muscular pode, por outro lado, restringir movimentos ou interferir na utilização dos sistemas de proteção. Da mesma forma, um sistema de monitoramento pode apresentar limitações decorrentes de falhas de sensores, conectividade, interpretação inadequada dos dados ou ocorrência de falsos positivos e falsos negativos.

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo analisar o potencial de tecnologias e estratégias preventivas aplicadas às atividades de trabalho em altura e acesso por corda, com ênfase nos exoesqueletos passivos e nas tecnologias destinadas ao monitoramento da fadiga e da atenção humana. Busca-se discutir seus benefícios potenciais, limitações e critérios necessários para uma implementação segura e integrada ao gerenciamento dos riscos ocupacionais.

2. METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como uma revisão qualitativa e exploratória da literatura, tendo como objeto de análise as relações entre trabalho em altura, acesso por corda, ergonomia, exoesqueletos passivos, fadiga ocupacional, tecnologias vestíveis e monitoramento da atenção humana.

Foram considerados artigos científicos, revisões, estudos experimentais e documentos técnicos relacionados ao tema, com prioridade para materiais publicados entre 2021 e 2026.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

Também foram incorporadas referências normativas e orientações técnicas relacionadas ao gerenciamento dos riscos ocupacionais e às atividades realizadas em altura.

A análise foi organizada a partir de quatro eixos principais: os riscos associados ao trabalho em altura e ao acesso por corda; as demandas ergonômicas e os fatores humanos presentes nessas atividades; a utilização de exoesqueletos como recurso de assistência física; e o emprego de tecnologias vestíveis e sistemas inteligentes para acompanhamento da fadiga e da atenção.

A abordagem adotada considera a tecnologia como instrumento complementar às estratégias convencionais de prevenção. Dessa forma, não se pressupõe que equipamentos tecnológicos sejam capazes de substituir medidas de proteção coletiva, equipamentos de proteção individual, procedimentos operacionais, treinamento, supervisão ou planejamento da atividade.

3. TRABALHO EM ALTURA E ACESSO POR CORDA: CARACTERÍSTICAS E RISCOS

As atividades executadas em altura apresentam riscos que exigem controle sistemático. A possibilidade de queda constitui um dos principais perigos, mas a exposição ocupacional envolve também fatores relacionados ao ambiente, à organização do trabalho, às ferramentas utilizadas, à postura corporal, à movimentação e às condições físicas e cognitivas do trabalhador.

A prevenção deve iniciar-se pela identificação dos perigos e avaliação dos riscos, seguida da definição de medidas de controle compatíveis com as características da tarefa. Essa abordagem deve considerar não apenas os riscos diretamente observáveis, mas também aqueles decorrentes da interação entre trabalhador, equipamento, ambiente e organização do trabalho.

Nas atividades de acesso por corda, a complexidade operacional pode ser ainda maior. Trata-se de uma técnica especializada utilizada para alcançar locais em que meios convencionais de acesso podem ser inviáveis ou menos adequados. Sua execução exige

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

profissionais capacitados, equipamentos específicos, inspeções, planejamento e procedimentos de emergência.

A permanência suspensa, a necessidade de manter determinadas posições corporais e a execução de tarefas durante o deslocamento podem aumentar a exigência física. Além disso, condições climáticas, dificuldade de comunicação, espaço reduzido e utilização simultânea de ferramentas e sistemas de segurança podem ampliar a complexidade da atividade.

Portanto, a gestão dos riscos deve considerar uma perspectiva abrangente, envolvendo aspectos técnicos, ergonômicos, humanos e organizacionais.

4. EXIGÊNCIAS ERGONÔMICAS E FATORES HUMANOS

A dimensão ergonômica assume importância significativa nas atividades de trabalho em altura e acesso por corda. A necessidade de permanecer em determinadas posturas, executar movimentos repetitivos ou aplicar força durante períodos prolongados pode produzir sobrecarga em grupos musculares específicos.

A fadiga física também pode influenciar a qualidade da execução da tarefa. À medida que o trabalhador se desgasta, podem ocorrer alterações na postura, redução da precisão dos movimentos e maior dificuldade para manter determinados padrões operacionais.

Além dos aspectos físicos, a fadiga mental merece atenção. A realização de atividades complexas exige percepção adequada das condições ambientais, capacidade de tomada de decisão e manutenção da atenção. Em situações de risco elevado, uma redução da capacidade de resposta pode contribuir para a ocorrência de eventos indesejados.

Por esse motivo, medidas preventivas devem considerar jornada de trabalho, pausas, intensidade do esforço, condições ambientais, organização das tarefas, comunicação, supervisão e treinamento. A tecnologia pode apoiar esse processo, mas não elimina a necessidade de intervenção organizacional.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

5. EXOESQUELETOS PASSIVOS E SUAS CONTRIBUIÇÕES ERGONÔMICAS

Os exoesqueletos passivos são dispositivos desenvolvidos para fornecer assistência mecânica ao trabalhador sem depender necessariamente de sistemas motorizados. Seu funcionamento pode utilizar elementos mecânicos para redistribuir forças e auxiliar determinadas regiões corporais durante movimentos específicos ou na manutenção de determinadas posturas.

Pesquisas recentes identificam possibilidades de aplicação desses dispositivos em atividades industriais e de construção, especialmente em situações caracterizadas por repetitividade, esforço físico ou permanência prolongada em determinadas posições. A utilização pode contribuir para diminuir parte da demanda sobre determinados grupos musculares, favorecendo a redução do esforço percebido em tarefas específicas.

Entretanto, a efetividade de um exoesqueleto não pode ser generalizada para todas as atividades. O resultado depende da configuração do dispositivo, das características da tarefa, do perfil do trabalhador, da duração da utilização e das condições ambientais.

Em atividades de trabalho em altura, essa avaliação precisa ser ainda mais rigorosa. O dispositivo não pode comprometer a mobilidade, modificar de maneira inadequada o centro de massa corporal ou dificultar a utilização dos equipamentos destinados à proteção contra quedas.

Assim, a escolha de um exoesqueleto deve considerar não apenas sua capacidade de reduzir determinado esforço, mas também sua interação com todo o sistema de trabalho.

6 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DOS EXOESQUELETOS EM ATIVIDADES DE ALTO RISCO

Entre os benefícios potenciais dos exoesqueletos passivos estão a redução de determinadas demandas musculares, a redistribuição das cargas e o auxílio à manutenção de posturas durante tarefas específicas.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

Essas características podem ser relevantes quando o trabalhador permanece por longos períodos em posições semelhantes ou realiza movimentos repetitivos. Entretanto, a redução de uma demanda física não representa necessariamente redução global do risco.

A utilização de um exoesqueleto pode modificar a distribuição das forças sobre o corpo, restringir determinados movimentos ou aumentar a exigência em outras regiões corporais. Também pode haver interferência com ferramentas, sistemas de proteção e procedimentos de emergência.

No acesso por corda, essas questões tornam-se especialmente relevantes, pois a mobilidade e a capacidade de movimentação são componentes essenciais da execução segura. Antes de qualquer implantação, devem ser realizados testes controlados, avaliação ergonômica, análise da mobilidade, verificação da compatibilidade com os equipamentos de proteção e avaliação dos procedimentos de emergência.

Portanto, a tecnologia deve ser selecionada a partir das características reais da tarefa, e não apenas com base em suas especificações técnicas.

7. TECNOLOGIAS VESTÍVEIS E MONITORAMENTO DA FADIGA

O desenvolvimento de sensores vestíveis ampliou as possibilidades de acompanhamento de variáveis relacionadas à atividade física e a determinadas respostas fisiológicas. Dependendo do equipamento utilizado, podem ser obtidas informações relacionadas ao movimento, frequência cardíaca e outros indicadores.

Quando analisados de forma contextualizada, esses dados podem auxiliar na identificação de padrões associados ao esforço ou à fadiga. Em atividades de elevado risco, essa informação pode contribuir para decisões preventivas, especialmente quando integrada a procedimentos de supervisão e gerenciamento da jornada.

Entretanto, nenhum indicador isolado deve ser interpretado como diagnóstico definitivo da condição do trabalhador. A resposta fisiológica varia entre indivíduos e pode ser influenciada por fatores ambientais, características pessoais, intensidade da tarefa e outras condições.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

Além disso, a utilização de tecnologias vestíveis envolve questões relacionadas à privacidade e ao tratamento dos dados. Portanto, a implantação desses sistemas deve observar critérios técnicos, éticos e organizacionais, estabelecendo claramente a finalidade da coleta e a forma de utilização das informações.

8. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MONITORAMENTO DA ATENÇÃO

A utilização de inteligência artificial e ferramentas de análise de dados permite processar informações provenientes de diferentes sensores e identificar padrões que poderiam passar despercebidos em avaliações convencionais.

No campo da segurança ocupacional, sistemas dessa natureza podem ser utilizados para produzir alertas relacionados a indicadores de fadiga, alterações comportamentais ou determinadas condições de execução da tarefa. Estudos recentes apontam possibilidades de utilização de tecnologias de monitoramento em atividades de construção e outros ambientes ocupacionais.

Entretanto, a automação não elimina a necessidade de julgamento profissional. Sistemas inteligentes dependem da qualidade dos dados utilizados, da calibração dos sensores e da capacidade dos algoritmos de interpretar diferentes situações.

Falsos positivos podem gerar alertas desnecessários, enquanto falsos negativos podem deixar de identificar uma condição relevante. Falhas de sensores e problemas de conectividade também podem comprometer o funcionamento do sistema.

Assim, a inteligência artificial deve ser entendida como ferramenta de apoio à decisão, e não como substituta da supervisão humana.

9. TREINAMENTO, COMPETÊNCIA E FATORES HUMANOS

A incorporação de novas tecnologias não reduz a importância da capacitação. Pelo contrário, quanto mais complexa for a tecnologia utilizada, maior será a necessidade de que os

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

trabalhadores compreendam seu funcionamento, suas limitações e as condições adequadas de utilização.

Nas atividades de trabalho em altura e acesso por corda, o treinamento deve contemplar procedimentos operacionais, inspeção dos equipamentos, sistemas de proteção, comunicação, identificação de condições inseguras, resposta a emergências e procedimentos de resgate.

Quando exoesqueletos, sensores ou sistemas de monitoramento forem incorporados à atividade, os trabalhadores também devem ser orientados quanto aos objetivos e limitações desses recursos.

A competência profissional continua sendo elemento central da prevenção. Nenhum sistema tecnológico deve estimular a percepção de que os riscos deixaram de existir ou que a automação é capaz de garantir, isoladamente, a segurança da operação.

10. INTEGRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS AO GERENCIAMENTO DE RISCOS

A adoção de tecnologias preventivas deve integrar um processo estruturado de gerenciamento de riscos. Antes da implantação, é necessário compreender a tarefa, identificar seus perigos, avaliar os riscos e estabelecer as medidas de controle existentes. Uma proposta de aplicação pode ser estruturada em cinco etapas:

1. **Diagnóstico da atividade:** identificação das tarefas, movimentos, posturas, esforços e riscos relacionados à altura;
2. **Avaliação ergonômica e de segurança:** análise das demandas físicas e da interação com os equipamentos existentes;
3. **Seleção tecnológica:** escolha do dispositivo compatível com as características da tarefa;
4. **Teste controlado:** avaliação inicial em ambiente seguro antes da utilização operacional;

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

5. **Monitoramento contínuo:** acompanhamento dos resultados, incidentes, desconfortos, mobilidade, manutenção e aceitação dos trabalhadores.

Essa metodologia permite reduzir a possibilidade de que uma inovação tecnológica seja incorporada sem avaliação adequada de seus efeitos.

Indicadores como percepção de esforço, desconforto, ocorrência de incidentes, interferência na mobilidade, necessidade de manutenção e aceitação dos usuários podem contribuir para verificar a efetividade da solução adotada.

11. DISCUSSÃO

A análise da literatura indica que exoesqueletos passivos, sensores vestíveis e sistemas inteligentes apresentam potencial para complementar as estratégias convencionais de prevenção. Os primeiros podem atuar sobre determinadas demandas biomecânicas, enquanto os segundos podem fornecer informações adicionais sobre esforço e fadiga.

Entretanto, a adoção dessas tecnologias precisa considerar a complexidade das atividades de trabalho em altura. Uma solução que apresente bons resultados em ambientes industriais convencionais não necessariamente apresentará o mesmo desempenho em operações realizadas em suspensão ou em locais de acesso restrito.

No caso dos exoesqueletos, a redução de determinada carga muscular deve ser analisada conjuntamente com possíveis alterações de mobilidade, postura e equilíbrio. A compatibilidade com os equipamentos de proteção e com os procedimentos de emergência também constitui requisito fundamental.

Quanto às tecnologias de monitoramento, a utilidade dos dados dependerá da confiabilidade dos sensores e da interpretação adequada das informações. O uso indiscriminado de indicadores pode produzir decisões equivocadas caso não sejam considerados o contexto da tarefa e as características individuais dos trabalhadores.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

Outro ponto relevante é a permanência dos fatores organizacionais. Tecnologia alguma substitui planejamento adequado, pausas, jornada compatível, treinamento, supervisão e manutenção dos equipamentos.

Dessa forma, a principal contribuição das tecnologias analisadas não está em substituir os mecanismos tradicionais de segurança, mas em acrescentar novas camadas de prevenção ao sistema existente.

12. LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS PARA NOVAS PESQUISAS

Apesar dos avanços observados, ainda existem limitações importantes quanto à utilização de exoesqueletos e sistemas de monitoramento especificamente em atividades de trabalho em altura e acesso por corda.

Parte significativa das pesquisas disponíveis está concentrada em ambientes industriais e tarefas de construção, que nem sempre reproduzem as condições específicas das atividades realizadas por trabalhadores em suspensão.

Essa lacuna indica a necessidade de estudos de campo que avaliem, durante períodos mais prolongados, fatores como segurança, mobilidade, conforto, fadiga, desempenho, aceitação do usuário e compatibilidade com sistemas de proteção contra quedas.

Também são necessários protocolos específicos para avaliar a utilização conjunta entre exoesqueletos, equipamentos de proteção individual, ferramentas e sistemas de acesso por corda.

No campo do monitoramento, pesquisas futuras podem aprofundar a confiabilidade dos indicadores fisiológicos e comportamentais utilizados para identificar fadiga e redução da atenção, especialmente em situações reais de trabalho.

13. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades de trabalho em altura e acesso por corda apresentam características que exigem uma abordagem preventiva ampla e integrada. A possibilidade de queda permanece

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

como um dos principais riscos, mas fatores ergonômicos, físicos, ambientais, organizacionais e humanos também podem influenciar significativamente a segurança da operação.

Nesse contexto, os exoesqueletos passivos apresentam potencial para auxiliar na redução de determinadas demandas musculares, enquanto sensores vestíveis e sistemas de análise de dados podem fornecer informações complementares sobre esforço, fadiga e atenção.

Contudo, a incorporação dessas tecnologias deve ser precedida por avaliação técnica, análise dos riscos, testes controlados e verificação da compatibilidade com os equipamentos e procedimentos existentes. A redução de uma determinada demanda física não pode ser considerada suficiente para caracterizar a redução global do risco.

A tecnologia deve ser compreendida como uma camada adicional de prevenção. Sua utilização deve permanecer subordinada aos princípios de gerenciamento de riscos, às medidas de proteção coletiva, aos equipamentos de proteção individual, aos procedimentos operacionais, à supervisão e à capacitação dos trabalhadores.

Conclui-se, portanto, que a inovação tecnológica possui potencial para contribuir para a evolução das práticas de Segurança e Saúde no Trabalho, especialmente quando utilizada de maneira criteriosa, baseada em evidências e integrada às características reais da atividade. Em operações de trabalho em altura e acesso por corda, a adoção responsável dessas soluções pode ampliar a capacidade preventiva das organizações, desde que a tecnologia seja utilizada como complemento, e não como substituição da competência profissional e das medidas tradicionais de controle dos riscos.

REFERÊNCIAS

ANTWI-AFARI, M. F. et al. Passive exoskeletons and spinal biomechanics: a systematic evaluation. *Safety Science*, v. 142, 105382, 2021.

BÄR, M. et al. Acute physical stress and strain while using industrial exoskeletons. *Applied Ergonomics*, v. 94, 103385, 2021.

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)

CARDOSO, M. et al. Exoskeletons for the prevention of work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 21, 1695, 2024.

FANG, Y. et al. Real-time monitoring of mental fatigue in construction workers. *Automation in Construction*, v. 159, 105267, 2024.

FOURNIER, M. et al. Exoskeletons and their implications for quality, productivity and economic performance. *PLOS ONE*, v. 18, n. 6, e0287742, 2023.

KERMAVNAR, T. et al. Industrial back-support exoskeletons: a systematic review. *Ergonomics*, v. 64, n. 6, p. 685–711, 2021.

KIM, J. et al. Wearable devices and data analytics for construction safety and health. *Expert Systems with Applications*, v. 257, 125038, 2024.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora nº 1 (NR-1): Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais**. Brasília, 2026.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora nº 35 (NR-35): Trabalho em Altura**. Brasília, 2026.

OKUNOLA, A.; AKANMU, A.; JEBELLI, H. Fall risk and back-support exoskeletons in construction. *Advanced Engineering Informatics*, v. 62, 102626, 2024.

SAFE WORK AUSTRALIA. **Guide to managing risks of industrial rope access systems**. Canberra, 2022.

WANG, X. et al. Wearable sensing technologies for construction safety and health monitoring. *Automation in Construction*, v. 165, 105555, 2024.

WANG, Y. et al. EEG and deep learning approaches for mental fatigue monitoring. *Automation in Construction*, v. 151, 104887, 2023.

ZHANG, Y. et al. ECG and GSR-based detection of inattention associated with physical fatigue. *Sensors*, v. 23, n. 17, 7405, 2023.

Recebido em: 14/09/2026
Aprovado em: 11/10/2026
Publicado em: 09/11/2026

A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)