



GESTÃO DIGITAL COM TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA AMBIENTES COMPARTILHADOS ENTRE HUMANOS E MÁQUINAS: EXOESQUELETOS

DIGITAL MANAGEMENT WITH ASSISTIVE TECHNOLOGY FOR SHARED ENVIRONMENTS BETWEEN HUMANS AND MACHINES: EXOSKELETONS

GESTIÓN DIGITAL CON TECNOLOGÍA DE ASISTENCIA PARA ENTORNOS COMPARTIDOS ENTRE HUMANOS Y MÁQUINAS: EXOESQUELETOS.

RENATO GUIMARÃES GONÇALVES | renato.goncalves@aluno.cps.sp.gov.br | FATEC São José dos Campos
THIAGO OLIVEIRA LOPES DE MORAES | thiago.moraes@aluno.cps.sp.gov.br | FATEC São José dos Campos
ALFRED MAKOTO KABAYAMA | alfred.makoto@cps.sp.gov.br | FATEC São José dos Campos
ROQUE ANTÔNIO MOURA | roque.amoura@unitau.br | Universidade de Taubaté /SP

RESUMO

Historicamente, os postos de trabalho industriais foram projetados com base na antropometria e capacidade biomecânica masculina. Contudo, a transição demográfica contemporânea evidencia que o gênero feminino compõe a maioria da população e possui uma presença crescente no chão de fábrica. Este artigo analisa o descompasso ergonômico gerado por esse viés de projeto, que resulta em sobrecarga física e cognitiva para as trabalhadoras. Para mitigar efeitos maléficos explora-se a implementação de exoesqueletos como tecnologia assistiva e monitorados por uma gestão digital. Por meio de uma revisão da literatura, discute-se como os exoesqueletos ocupacionais atuam como tecnologias assistivas funcionais para mitigar essas disparidades, pois, a adoção desses dispositivos não apenas redistribui as cargas articulares, adequando o ambiente à diversidade anatômica, mas também se alinha aos princípios da neuroergonomia e da manufatura enxuta, promovendo a inclusão, a segurança e a eficiência operacional respeitando a biomecânica humana e as variações de processo. Conclui-se que a gestão digital dos exoesqueletos não apenas previne lesões, mas promove um fluxo de trabalho sustentável e adaptável colocando o humano no centro de sistemas compartilhados entre máquinas inteligentes e complexas.

Palavras-chave: Antropometria; Ergonomia; Exoesqueletos; Gestão digital; Neuroergonomia.

ABSTRACT

Historically, industrial workstations were designed based on male anthropometry and biomechanical capacity. However, the contemporary demographic transition shows that women make up the majority of the population and have a growing presence on the factory floor. This article analyzes the ergonomic mismatch generated by this design bias, which results in physical and cognitive overload for female workers. To mitigate harmful effects, the implementation of exoskeletons as assistive technology, monitored by digital management, is explored. Through a literature review, it discusses how occupational exoskeletons act as functional assistive technologies to mitigate these disparities, since the adoption of these devices not only redistributes joint loads, adapting the environment to anatomical diversity, but also aligns with the principles of neuroergonomics and lean manufacturing, promoting inclusion, safety, and operational efficiency while respecting human biomechanics and process variations. It is concluded that the digital management of exoskeletons not only prevents injuries, but also promotes a sustainable and adaptable workflow, placing the human at the center of shared systems between intelligent and complex machines.

Keywords: Anthropometry; Ergonomics; Exoskeletons; Digital management; Neuroergonomics.

RESUMEN

Históricamente, los puestos de trabajo industriales se diseñaban en función de la antropometría y la capacidad biomecánica masculinas. Sin embargo, la transición demográfica actual muestra que las mujeres constituyen la mayoría de la población y tienen una presencia cada vez mayor en las fábricas. Este artículo analiza la inadecuación ergonómica generada por este sesgo de diseño, que provoca sobrecarga física y cognitiva en las trabajadoras. Para mitigar estos efectos perjudiciales, se explora la implementación de exoesqueletos como tecnología de asistencia, monitorizada mediante gestión digital. A través de una revisión bibliográfica, se analiza cómo los exoesqueletos ocupacionales actúan como tecnologías de asistencia funcional para mitigar estas disparidades, ya que la adopción de estos dispositivos no solo redistribuye las cargas articulares, adaptando el entorno a la diversidad anatómica, sino que también se alinea con los principios de la neuroergonomía y la producción ajustada, promoviendo la inclusión, la seguridad y la eficiencia operativa, al tiempo que se respeta la biomecánica humana y las variaciones de los procesos. Se concluye que la gestión digital de los exoesqueletos no solo previene lesiones, sino que también promueve un flujo de trabajo sostenible y adaptable, situando al ser humano en el centro de los sistemas compartidos entre máquinas inteligentes y complejas.

Palabras clave: Antropometría; Ergonomía; Exoesqueletos; Gestión digital; Neuroergonomía.

1. INTRODUÇÃO

O avanço para a Indústria 5.0 tem reconfigurado as linhas de produção, colocando o operador humano no centro de sistemas ciberfísicos complexos. Neste cenário, os ambientes compartilhados entre humanos e máquinas exigem soluções que mitiguem o desgaste físico e cognitivo.

Este artigo explora a implementação de exoesqueletos como tecnologia assistiva, aliados à gestão digital, para otimizar a ergonomia e a produtividade. A partir de uma revisão bibliográfica qualitativa, analisa-se como o monitoramento de dados biométricos e a integração de metodologias de manufatura enxuta podem gerenciar a carga de trabalho, respeitando a biomecânica humana e as variações de recrutamento neural em diferentes faixas etárias. Conclui-se que a gestão digital dos exoesqueletos não apenas previne lesões, mas promove um fluxo de trabalho sustentável e adaptável.

A transição da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0 reorientou o foco da automação total para a colaboração sinérgica entre humanos e máquinas. Em ambientes de manufatura e manutenção complexa, o operador humano continua sendo indispensável devido à sua capacidade de tomada de decisão, criatividade e destreza.

No entanto, as exigências físicas dessas tarefas, frequentemente associadas as posturas inadequadas e manuseio de cargas, representam um desafio contínuo para a saúde ocupacional e a eficiência operacional, conforme ilustra Figura 1 (Nunes; Santos, 2022).

Figura 1 | Tecnologia assistiva para ambientes compartilhados humanos e máquinas: exoesqueletos



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

Os exoesqueletos emergem como tecnologias assistivas vitais, projetadas para suportar o sistema musculoesquelético durante atividades laborais intensas.

Contudo, a simples adoção mecânica desses dispositivos é insuficiente sem uma camada de gestão inteligente (Benevides *et al.*, 2025).

A gestão digital, por meio da coleta de dados em tempo real via sensores da Internet das Coisas (IoT), permite um monitoramento contínuo do status biométrico do trabalhador e do desempenho do equipamento (Silva *et al.*, 2023).

Este artigo tem como objetivo analisar a integração de exoesqueletos em ambientes compartilhados sob a ótica da gestão digital.

O estudo justifica-se pela necessidade de desenvolver frentes de trabalho que não apenas protejam o operador, mas que também se adaptem às características biomecânicas e cognitivas de uma força de trabalho cada vez mais diversificada (Benevides *et al.*, 2025; Nobre, 2024; Moura *et al.*, 2024).

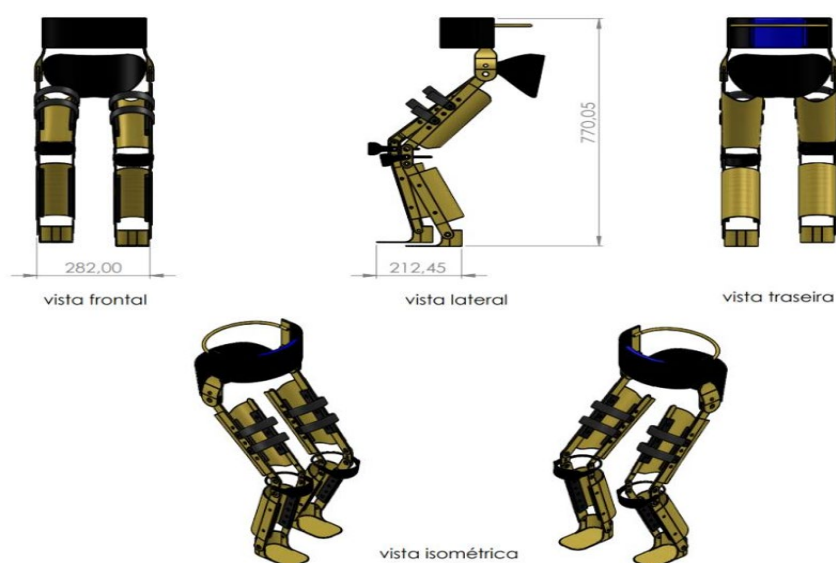
A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, cujos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) perpassam a urgência de se fomentar a inovação nas indústrias (ODS, 2023).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 EXOESQUELETO

Segundo Pons (2008), os exoesqueletos caracterizam-se como dispositivos vestíveis projetados para atuar em conjunto com o sistema neuromusculoesquelético humano e assim minimizar o esforço físico humano conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 | Exoesqueleto: Simulação de usuário do gênero feminino para membros inferiores



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

Historicamente concebidos para o contexto clínico na reabilitação motora de indivíduos com distúrbios neuromusculares, os exoesqueletos como tecnologias assistivas expandiram sua aplicabilidade para os setores ocupacional e tático-militar, impulsionado pela interdisciplinar entre a biomecânica, a robótica e a engenharia de materiais avançados (Dollar; Herr, 2008).

Bogue (2018) comenta sobre a finalidade operacional, subdividindo-se em:

- Clínicos (ou de Reabilitação): Direcionados à restauração da marcha, fisioterapia assistida e suporte a indivíduos com déficits de mobilidade.
- Ocupacionais (ou Industriais): Focados na prevenção de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT), prestando assistência biomecânica em tarefas de manipulação de cargas, movimentos repetitivos ou manutenção de posturas não neutras

- Militares: Orientados ao aprimoramento da resistência metabólica e a capacidade de transporte de cargas táticas em terrenos irregulares.

A taxonomia dos exoesqueletos é fundamentada primariamente na arquitetura de acionamento e no domínio de aplicação. Sob a ótica do acionamento e da transferência de energia, a literatura os divide em duas categorias principais conforme Quadro 1 (De Looze *et al.*, 2016).

Quadro 1 | Exoesqueleto: categorias e funcionalidade

Categoria	Atuação e funcionalidade
Exoesqueletos passivos	Sistemas desprovidos de atuadores motorizados ou redes elétricas. Operam mediante a transferência de momentos de força e o armazenamento de energia potencial elástica por meio de componentes viscoelásticos, molas e amortecedores. Sua função central é a mitigação da fadiga localizada e a estabilização postural através da redistribuição vetorial do peso.
Exoesqueletos ativos	Equipamentos que incorporam atuadores (elétricos, pneumáticos ou hidráulicos) acoplados a uma arquitetura de sensores e unidades de processamento de dados. Projetados para injetar energia mecânica no sistema, fornecem torque suplementar às articulações biológicas para a execução de tarefas de alta demanda

Fonte: Adaptado de De Looze *et al.* (2016) e Toxiri *et al.* (2019).

2.2 INTERAÇÃO HUMANO-MÁQUINA

A eficácia operacional de um exoesqueleto ativo depende intrinsecamente da sincronia na interface humano-máquina, assegurando uma assistência fluida que não interfira na propriocepção do operador (Toxiri *et al.*, 2019).

Exoesqueletos passivos prescindem de processamento eletrônico e seu funcionamento baseia-se na cinemática direta e na integridade estrutural do dispositivo. As forças gravitacionais e de reação do solo articulam com a usuária reduzindo a sobrecarga sobre a musculatura esquelética (De Looze *et al.*, 2016).

Em ambientes onde humanos e robôs colaborativos (*cobots*) dividem o mesmo espaço de trabalho, a carga cognitiva do operador sofre alterações significativas. A neuroergonomia estuda essas interações focando no cérebro em trabalho (Parasuraman; Rizzo, 2008).

A gestão digital de ambientes compartilhados deve considerar que o esforço físico e a atenção variam significativamente ao longo do tempo. Além disso, as variações biomecânicas entre diferentes gêneros e faixas etárias requerem que as tecnologias de assistência sejam adaptativas, evitando que o suporte mecânico gere, paradoxalmente, uma sobrecarga cognitiva devido a uma interface humano-máquina pouco intuitiva (Ferreira, 2021).

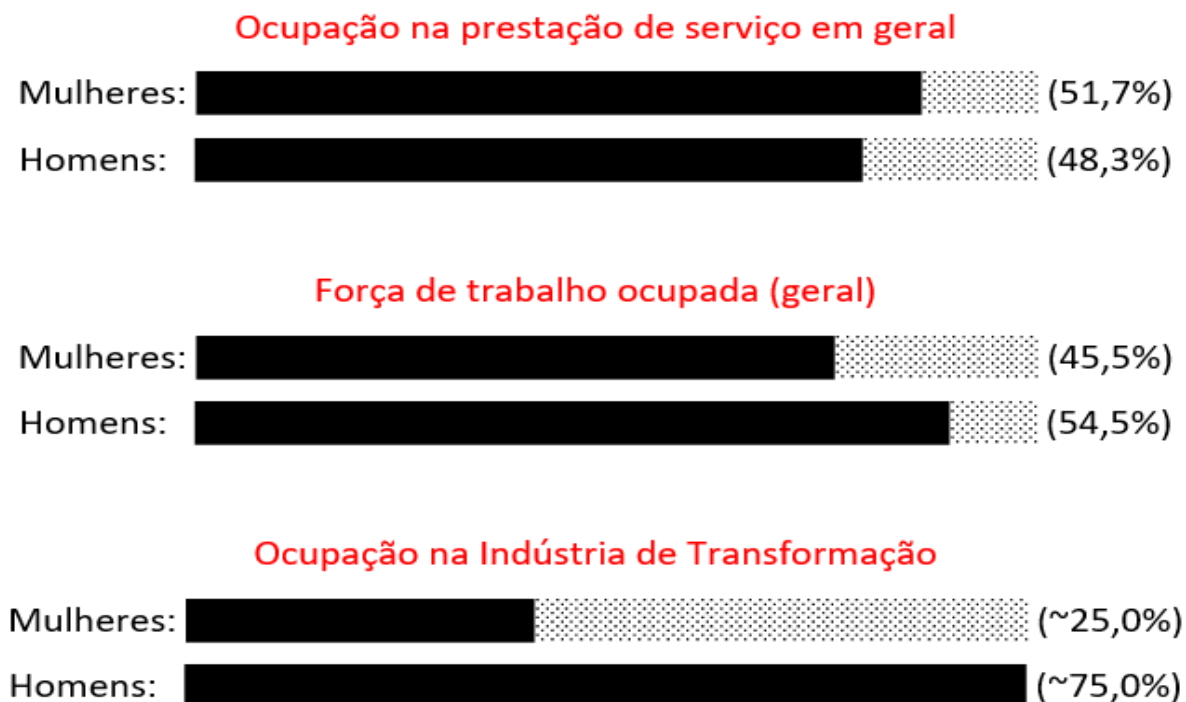
Os exoesqueletos ocupacionais, sejam modelos ativos (motorizados) ou passivos (baseados em molas e elastômeros para armazenamento de energia), atuam na transferência de forças, reduzindo a ativação muscular em regiões críticas, como a lombar e os ombros (Zubieta *et al.*, 2022).

Sob a perspectiva da Engenharia e das ferramentas da Manufatura Enxuta, o exoesqueleto atua como um facilitador de fluxo, minimizando o esforço humano e padronizando as condições de trabalho e possibilitando ajustes de acordo com o grau de assistência oferecido pelo equipamento conforme a demanda da atividade fabril (Almeida; Costa, 2023) antes que a trabalhadora atinja um limiar crítico de fadiga muscular (Silva *et al.*, 2023; Parasuraman; Rizzo, 2008; Zanon *et al.*, 2025).

2.3 DISTRIBUIÇÃO OCUPACIONAL POR GÊNERO (IBGE/RAIS)

A população feminina e sua participação no setor industrial, fundamentada nos levantamentos da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) do IBGE e dados da RAIS, mostram que as mulheres são a maioria da população em idade de trabalhar no Brasil com presença crescente em setores tradicionalmente ocupados pelo gênero masculino como na indústria conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 | Representatividade feminina em idade ativa (PIA) na indústria



Fonte: Adaptado IBGE e RAIS pelos Autores (2026).

A evolução dos sistemas de manufatura tem sido historicamente pautada por projetos de engenharia que utilizam bases de dados antropométricas defasadas e desenhadas para atender o gênero masculino. Tradicionalmente, o dimensionamento de maquinários, ferramentas e bancadas foi concebido para atender ao percentil 50 a 95 da população masculina (Kroemer; Grandjean, 2017).

No cenário demográfico global, o gênero feminino representa a maioria da população e, progressivamente, ocupa funções estatégicas, táticas e operacionais na indústria. Há um desalinhamento entre o projeto do posto de trabalho e as características físicas da operadora, o que pode ser um fato gerador de Lesões por Esforço Repetitivo (LER) e Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) agravados por uma inadequação espacial (Dul; Weerdmeester, 2012).

2.4 CÁLCULO BIOMECÂNICO DA SOBRECARGA FÍSICO-MENTAL

A diferença biológica entre os gêneros reflete-se na distribuição de massa muscular, estatura média e amplitude articular. Em tarefas de elevação de carga, o momento de força (torque) exigido nas articulações é diretamente proporcional à distância da carga ao centro de gravidade do corpo. Biomecanicamente, o torque “T” pode ser calculado conforme Equação 1.

$$\tau = F \cdot d \cdot \sin(\theta) \quad (1)$$

Onde:

- F é a força aplicada (peso da carga)
- d é o braço de alavanca
- θ é o ângulo de aplicação.

Por ter uma menor envergadura e estatura, as mulheres precisam afastar a carga de seu centro de gravidade ou elevar os braços acima da linha dos ombros (θ desfavorável) para alcançar componentes projetados para homens. Isso resulta em um torque excessivo, especialmente nas articulações do complexo do ombro e na região lombar. Sob a ótica neuroergonômica, há uma sobrecarga físico-mental, pois as mulheres precisam realizar esforço constante para manter posturas compensatórias sem desviar a atenção do controle de qualidade e da segurança (Parasuraman; Rizzo, 2008; De Moura *et al.*, 2025).

Nesse sentido, exoesqueletos passivos funcionam absorvendo e redistribuindo as forças gravitacionais. Em vez da trabalhadora sustentar o peso, o exoesqueleto transfere essa carga diretamente para o solo ou para a região pélvica, utilizando sistemas de molas e elastômeros que atuam como tendões artificiais (Bosch *et al.*, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desta pesquisa caracteriza-se como um estudo exploratório-descritivo, baseado em revisão bibliográfica qualitativa. A coleta de dados foi realizada por meio de artigos científicos e livros técnicos focados em ergonomia ocupacional, biomecânica e tecnologias assistivas na indústria. A análise dos dados buscou correlacionar as limitações dos projetos industriais clássicos com as soluções oferecidas pela robótica vestível, estabelecendo um paralelo com a necessidade de inclusão da força de trabalho feminina (Yin, 2018).

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa, construída por meio de revisão narrativa da literatura. A busca de dados fundamentou-se em artigos científicos, teses e publicações de periódicos indexados nas bases Scopus e Web of Science, publicados majoritariamente nos últimos cinco anos.

Os descritores utilizados foram: *exoskeletons in manufacturing*, *digital management*, *neuroergonomics* e *human-machine interaction*. Os dados coletados foram categorizados para estabelecer as conexões entre a biomecânica da assistência física e a infraestrutura de dados industriais.

3.1 PROJETO DE UM EXOESQUELETO PASSIVO (SEM MOTORES OU BATERIAS)

Projeto passo a passo para o desenvolvimento de um exoesqueleto passivo de membros superiores e tronco, ideal para linhas de produção e manutenção industrial conforme Figura 4.

Figura 4 | Projeto de um exoesqueleto passivo



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

A implementação de exoesqueletos passivos como tecnologia assistiva na indústria contemporânea, com foco na mitigação da sobrecarga física e cognitiva decorrente da inadequação antropométrica histórica dos postos de trabalho frente à crescente força de trabalho feminina demonstra que a adequação biomecânica atua diretamente na prevenção de distúrbios osteomusculares e na redução da fadiga físico-mental em tarefas manuais que requerem esforço humano.

A incorporação da gestão digital, por meio do monitoramento contínuo de dados biométricos e da eficiência do fluxo de trabalho, possibilita o ajuste dinâmico do suporte físico às necessidades individuais e métricas de produção para assegurar a redução de desperdícios, a segurança ocupacional e a sustentabilidade das linhas de produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 NOVO PERFIL DEMOGRÁFICO GLOBAL

A mudança do perfil demográfico no chão de fábrica (Tabela 1) não é apenas uma questão de inclusão, mas uma necessidade econômica para o setor produtivo. A adaptação dos ambientes de trabalho para o gênero feminino requer rearranjo de leiautes, adoção de tecnologias assistivas como exoesqueletos e redistribuição de carga de trabalho em conformidade com o gênero.

Tabela 1 | Mudança do perfil demográfico no chão de fábrica

Indicador	Mulheres (%)	Homens (%)
População em Idade Ativa (Geral)	51,7%	48,3%
População Ocupada (Todos os setores)	45,5%	54,5%
Setor de Serviços e Comércio	54,0%	46,0%
Indústria Geral e de Transformação	25,0%	75,0%
Cargos de Liderança na Indústria	39,0%	61,0%

Fonte: Adaptado de IBGE (2018) e Brasil (2023).

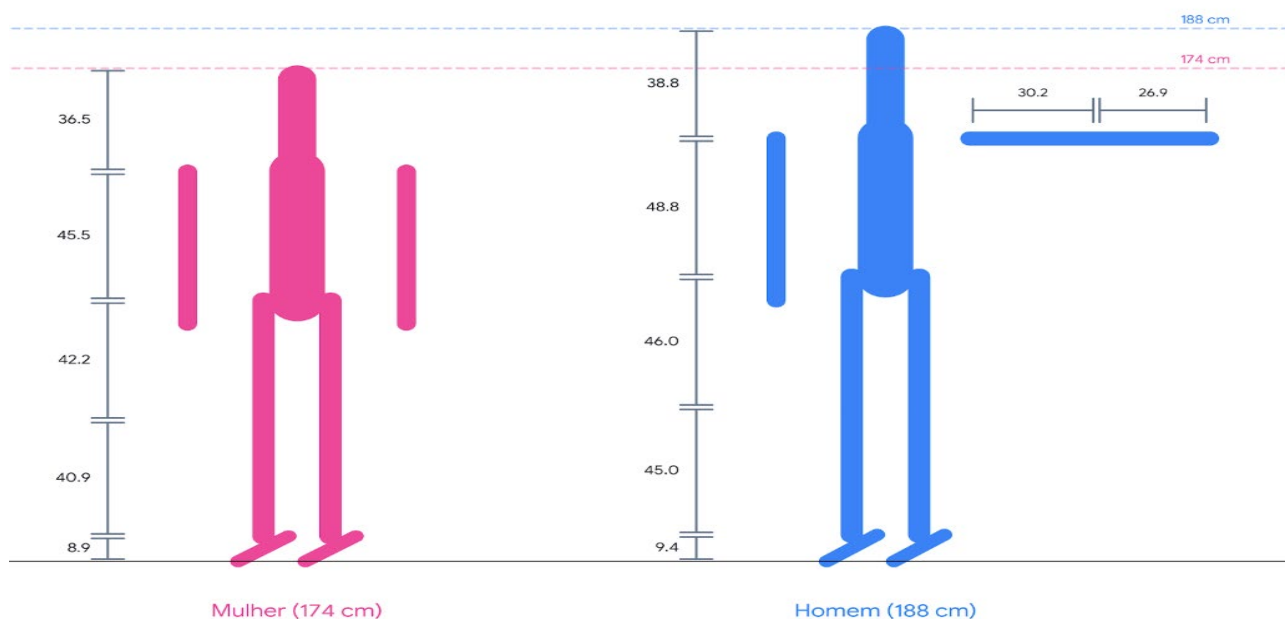
4.2 MUDANÇA CULTURAL E TECNOLÓGICA

A análise da literatura evidencia que a gestão digital de tecnologias assistivas transcende a simples automação do suporte físico. A aceitação do exoesqueleto será maior se o projeto da tecnologia respeitar a personalização do usuário. Contudo, há desafios no que tange à biossegurança do exoesqueleto. Deve ser considerado como um equipamento de proteção individual (EPI) e não proteção coletiva (EPC).

4.3 DIMENSIONADO DO EXOESQUELETO EM CONFORMIDADE COM A ANTROPOMETRIA

Para que a tecnologia seja efetiva, a gestão da implementação deve ser criteriosa. O exoesqueleto não pode ser tratado como um equipamento de proteção individual (EPI) genérico. Deve-se respeitar as diferenças antropométrica entre gêneros (Moura *et al.*, 2024) conforme a Figura 5.

Figura 5 | Diferenças antropométrica entre gêneros



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição para a indústria digital e a consolidação de ambientes de manufatura colaborativos requerem uma reavaliação profunda da infraestrutura neuroergonômica. Este estudo evidenciou que a persistência de projetos industriais baseados em dados antropométricos defasados e centradas no gênero masculino gera um descompasso estrutural resultado em absenteísmo e lesões.

Com a crescente inserção e liderança da força de trabalho feminina nas indústrias, torna-se imperativo neutralizar esse viés para evitar o adoecimento ocupacional decorrente de sobrecargas biomecânicas e posturas compensatórias. Nesse contexto, os exoesqueletos ocupacionais superam a categorização de simples suportes mecânicos, assumindo o papel de tecnologias assistivas fundamentais para a equalização das capacidades físicas e cognitivas.

Conclui-se que a adoção da tecnologia assistiva atinge sua eficácia máxima quando integrada a gestão digital respeitando os dados antropométricos e o exoesqueleto com equipamento de proteção individual não apenas para promover a segurança e previne lesões, mas também em atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável com sua meta nove, assegurando uma industrialização mais inclusiva, resiliente, sustentável e inovadora.

6. TRABALHO FUTURO

Realizar ensaios práticos em linhas de montagem a longo prazo no uso contínuo de exoesqueletos passivos avaliando questões de conforto térmico, restrição de mobilidade e a regulamentação necessária para classificar definitivamente o dispositivo como Equipamento de Proteção Individual (EPI).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G.; COSTA, M. F. **Aplicação de metodologias ágeis e Lean na implementação de tecnologias assistivas industriais**. Revista de Engenharia de Produção e Qualidade, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 45-60, 2023.
- BENEVIDES, K. D. G.; RUFINO, L. J. G. C.; DOS SANTOS, D. F. A.; BENEVIDES, M. P.; PIMENTA, C. D.; DE OLIVEIRA, M. R.; DE MOURA, R. A. (2025). **Inteligência Artificial na educação de indivíduos adultos com 50 anos de idade ou mais: abordagem assistiva**. ARACÊ, [S. l.], v7, n8, p. e7160. DOI: [10.56238/arev7n8-085](https://doi.org/10.56238/arev7n8-085). <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/7160>.
- BOGUE, R. (2018). Exoskeletons: a review of industrial applications. **Industrial Robot**, v. 45, n. 5, p. 585-590, 2018.
- BOSCH, T. et al. **The effect of passive exoskeleton on muscle activity**, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics*, v. 54, p. 212-217, 2016.
- BRASIL. (2023). Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)**. Brasília, DF: MTE. (Base de dados utilizada para os indicadores de ocupação formal e cargos de liderança na indústria).
- DE LOOZE, M. P. et al. **Exoskeletons for industrial application** and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, v. 59, n. 5, p. 671-681, 2016.
- DE MOURA, R. A.; BENEVIDES, M. P.; et al.; (2025). **Neuroergonomia no controle ... e artificial feel e melhor feedback háptico**. ARACÊ, [S. l.], v7, n9, p. e8071. DOI: [10.56238/arev7n9-139](https://doi.org/10.56238/arev7n9-139). Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/8071>. Acesso 13set2025.
- DOLLAR, A. M.; HERR, H. Lower extremity exoskeletons and active orthoses: challenges and state-of-the-art. **IEEE Transactions on Robotics**, v. 24, n. 1, p. 144-158, 2008.
- DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.
- FERREIRA, A. L. (2021). **Neuroergonomia na Indústria 4.0: Carga cognitiva e fadiga em ambientes de manufatura avançada**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.
- IBGE. (2018). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua)**. Rio de Janeiro: IBGE. (Base de dados utilizada para os levantamentos demográficos e de força de trabalho ocupada).
- KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.
- MOURA, R. A.; VILLARTA, C. J. B.; BENEVIDES, M. P.; RICETTO, M. R.; ROSA JUNIOR, O.; SANTOS, D. F. A. (2024). **Anthropometry, neuroergonomics and immersive technologies for the workplace's future: safer, self-sustainable and digital**. RGSA, 18(12), e09859. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n12-032>
- NUNES, P. R.; SANTOS, L. M. A transição para a Indústria 5.0: **O fator humano nos sistemas ciberfísicos**. *Journal of Industrial Engineering and Innovation*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 112-128, 2022.
- ODS. (2023). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Nações Unidas Brasil. Objetivo 9: Indústria, inovação e infraestrutura. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/9>. Acesso em: 01maio2026.
- PARASURAMAN, R.; RIZZO, M. **Neuroergonomics: The brain at work**. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- PONS, J. L. **Wearable robots: biomechatronic exoskeletons**. Chic Hester: John Wiley & Sons, 2008.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, T. H.; MENDES, R. S. Integração IoT e gêmeos digitais na gestão de tecnologias assistivas de vestir. *Revista Brasileira de Automação e Controle*, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 88-105, 2023.

TOXIRI, S., NÄF, M. B., LAZZARONI, M., FERNÁNDEZ, J., SPOSITO, M., POLIERO, T., ... ORTIZ, J. (2019). Back-Support Exoskeletons for Occupational Use: An Overview of Technological Advances and Trends. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7(3–4), 237–249. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1626303>

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

ZANON, A. F.; DE CARVALHO, J.; BENEVIDES, K. D. G.; BENEVIDES, M. P.; VILLARTA, C.; DE MOURA, R. A. (2025). **Neuroergonomia: minimizar desconfortos e maximizar a percepção de bem-estar...** DOI: [10.56238/arev7n11-272](https://doi.org/10.56238/arev7n11-272). <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/10264>.

ZUBIETA, C. E. et al. (2022). **Avaliação biomecânica de exoesqueletos passivos** para membros superiores em tarefas de montagem aeronáutica. *Ergonomics & Human Factors Journal*, Brasília, v. 19, n. 3, p. 210-225, 2022.

