



**Universidade Federal do Amazonas**  
**Faculdade de Tecnologia**

---

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção - PPGEP**



**MICHEL ALFREDI LIBANORE**

**IMPACTO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO PRODUTIVO:  
UM ESTUDO DE CASO ERGONÔMICO DO POLO DE DUAS RODAS**

Manaus – AM

2025

**MICHEL ALFREDI LIBANORE**

**IMPACTO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO PRODUTIVO:  
UM ESTUDO DE CASO ERGONÔMICO DO POLO DE DUAS RODAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Área de Concentração:** Gestão da produção e Operações.

**Linha de Pesquisa:** Gestão de Operações e Processos da Produção e Serviços.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Breval Santiago

Manaus – AM

2025

### Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

- L694i Libanore, Michel Alfredi  
Impacto de tecnologia da indústria 4.0 no processo produtivo: um estudo de caso ergonômico do polo de duas rodas / Michel Alfredi Libanore. - 2025.  
52 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Sandro Breval Santiago.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Manaus, 2025.
1. Ergonomia. 2. Indústria 4.0. 3. Exoesqueleto. 4. Alívio de carga. 5. Membros superiores. I. Santiago, Sandro Breval. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título
-

**MICHEL ALFREDI LIBANORE**

**IMPACTO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO PRODUTIVO:  
UM ESTUDO DE CASO ERGONÔMICO DO POLO DE DUAS RODAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Área de Concentração:** Gestão da produção e Operações.

**Linha de Pesquisa:** Gestão de Operações e Processos da Produção e Serviços.

Aprovada em 28 de março de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Sandro Breval Santiago, Presidente  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Dercio Luiz Reis  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Orlem Pinheiro de Lima  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

*Ao meu pai **José Carlos Libanore** (In memoriam) apesar da sua ausência física, sinto sua presença constantemente.*

*A minha esposa **Fernanda Cristina Bittencourt Libanore**, minha parceira nessa jornada louca da vida.*

*Aos meus filhos **Joao Bittencourt Libanore** e **Julia Bittencourt Libanore**, a razão pela qual me esforço todos os dias.*

*A minha mãe **Stela Marys Alfredi Libanore** e irmã **Giorgia Alfredi Libanore Brum** parte muito importante da minha família.*

*Obrigado por tudo!!!*

## **RESUMO**

A Indústria 4.0 é caracterizada pela integração de objetos físicos, pessoas, máquinas, inteligência artificial e processos, formando uma cadeia produtiva inteligente, conectada e ágil. Nesse cenário, é fundamental a implementação de intervenções para ambientes de trabalho com alto risco, com o uso de máquinas, robôs auxiliares ou dispositivos ergonômicos, visando substituir ou colaborar com o trabalhador na execução de tarefas que demandam esforço físico elevado. Dentre esses dispositivos, os exoesqueletos têm sido desenvolvidos para fornecer funcionalidades específicas, como o aumento de força. Este estudo, de natureza aplicada, propôs a implementação de um exoesqueleto para aliviar a carga dos membros superiores em postos de trabalho de uma indústria no Polo Industrial de Manaus (PIM), com o objetivo de reduzir o risco ergonômico e aumentar a produtividade. Para isso, foi realizada uma revisão teórica sobre os conceitos de Ergonomia, Indústria 4.0 e Exoesqueletos, por meio de pesquisa bibliográfica e bibliométrica, além da análise do modelo de exoesqueleto proposto. A etapa final consistiu na validação do exoesqueleto, por meio de testes com possíveis usuários, para avaliar sua eficácia. A validação foi realizada com entrevistas, nas quais os usuários relataram suas percepções antes e depois do uso do exoesqueleto em seus postos de trabalho. As entrevistas abordaram sintomas psicológicos, físicos e a percepção sobre o ambiente de trabalho. Os resultados indicaram que o uso do exoesqueleto proporcionou benefícios significativos, com redução de sintomas psicológicos, como menor sensação de cansaço e maior concentração.

**Palavras chaves:** Ergonomia; indústria 4.0; exoesqueleto; alívio de carga; membros superiores.

## **ABSTRACT**

Industry 4.0 is characterized by the integration of physical objects, people, machines, artificial intelligence, and processes, forming an intelligent, connected, and agile production chain. In this context, interventions are crucial in high-risk work environments, utilizing machines, robotic assistants, or ergonomic devices to either replace or collaborate with workers in tasks that require high physical effort. Among these devices, exoskeletons have been developed to provide specific functionalities, such as increasing strength. This applied study proposed the implementation of an exoskeleton to alleviate the load on the upper limbs in workstations within an industry located in the Manaus Industrial Hub (PIM), aiming to reduce ergonomic risks and increase productivity. To achieve this, a theoretical review of the concepts of Ergonomics, Industry 4.0, and Exoskeletons was conducted through bibliographic and bibliometric research, along with an analysis of the proposed exoskeleton model. The final phase involved validating the exoskeleton through tests with potential users to assess its effectiveness. The validation was carried out via interviews, in which users reported their perceptions before and after using the exoskeleton in their respective workstations. The interviews addressed psychological and physical symptoms, as well as the workers' perception of their work environment. The results indicated that the use of the exoskeleton provided significant benefits, including a reduction in psychological symptoms, such as less fatigue and improved concentration.

**Keywords:** Ergonomics; industry 4.0; exoskeleton; load relief; upper limbs.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ergonomia como uma tecnologia de interfaces.....	21
Figura 2: Ilustração de exoesqueleto para membros superiores.....	22
Figura 3: <i>Framework</i> de fatores de aceitação do uso de exoesqueletos.....	23
Figura 4 - Etapas metodológicas.....	27
Figura 5: Modelo de fases metodológicas .....	29
Figura 6: Modelo de exoesqueleto para membros superiores .....	30
Figura 7: Foto de processo produtivo “poluído”.....	32
Figura 8: Categorias de avaliação.....	33

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Publicações mais alinhadas ao tema de pesquisa.....	17
Quadro 2: Objetivos x resultados esperados.....	29
Quadro 3: Perfil dos colaboradores participantes .....	32
Quadro 4: Panorama geral das avaliações .....	35
Quadro 5: Panorama das avaliações – processos e colaboradores x categorias .....	36

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Critérios de sintomas psicológicos – antes x depois .....	37
Gráfico 2: Critérios de sintomas físicos – antes x depois .....	39
Gráfico 3: Critérios de percepção posto de trabalho – antes x depois .....	40

## LISTA DE SIGLAS

ABERGO - Associação Brasileira de Ergonomia

IA - Inteligência Artificial

ML - *Machine Learning*

OCRA – *Occupational Repetitive Actions*

PDR – Polo de duas rodas

PIM - Polo Industrial de Manaus

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	Questão de Pesquisa .....	14
1.2.	Hipótese.....	14
1.3.	Objetivos.....	14
1.3.1.	Objetivo Geral .....	14
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	14
1.4.	Estrutura do trabalho.....	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1.	Estudo Bibliométrico .....	16
2.2.	O Impacto da Indústria 4.0 no polo de duas rodas.....	19
2.3.	Ergonomia .....	20
2.4.	Exoesqueletos aplicados a ergonomia.....	21
2.5.	Polo de duas rodas .....	24
3.	METODOLOGIA.....	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	30
4.1.	Apresentação do modelo de exoesqueleto .....	30
4.2.	Definição dos postos de trabalho e usuários para aplicação do teste .....	31
4.3.	Instrumento para coleta de dados.....	33
4.4.	Realização dos testes e coleta de dados .....	34
4.4.1.	Fase 1: Introdutória.....	34
4.4.2.	Fase 2: Coleta de dados .....	34
4.5.	Resultados obtidos após a aplicação dos testes.....	35
5.	CONCLUSÃO.....	43
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
	REFERENCIAS .....	46
	ANEXO 1: INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	49

# 1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, caracterizada pela integração de sistemas ciber-físicos, automação avançada, e digitalização dos processos produtivos, tem promovido transformações significativas no setor industrial, impulsionando melhorias em eficiência, flexibilidade e personalização (Schumacher, Erol, Sihn, 2016). Este novo paradigma industrial, também conhecido como quarta revolução industrial, combina tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e robótica colaborativa, para criar um ecossistema produtivo mais ágil e inteligente (Schwab, 2017).

Entre as diversas inovações tecnológicas associadas à Indústria 4.0, o uso de exoesqueletos industriais tem se destacado como uma solução promissora para melhorar a ergonomia e o bem-estar dos trabalhadores em ambientes fabris. Exoesqueletos são estruturas bio-inspiradas que, quando vestidas, fornecem suporte ou aumento de força para auxiliar na execução de tarefas físicas extenuantes, contribuindo para a redução do esforço muscular e prevenção de distúrbios musculoesqueléticos (Oliveira; Calabrez, 2018). Essas tecnologias são particularmente relevantes em atividades que envolvem esforço repetitivo e levantamento de cargas, áreas críticas para a prevenção de lesões ocupacionais ( Looze et al., 2015).

No contexto do Polo de duas rodas (PDR) situado no Polo industrial de Manaus (PIM), um dos maiores polos industriais da América Latina, a introdução de tecnologias da Indústria 4.0, como os exoesqueletos, pode oferecer uma oportunidade estratégica para os processos produtivos. Nesse sentido, faz-se necessário criar um ambiente saudável e que não traga riscos ergonômicos para aqueles que ali trabalham. Frente a isso, a automação de processos produtivos apresenta-se como uma alternativa que cobre todos os itens acima citados de forma efetiva. Contudo, como desenvolvimento de qualquer projeto, para modificar qualquer processo visando buscar a maturidade na indústria 4.0 são necessários os estudos de todos os fatores impactados na mudança proposta.

Diante desse cenário, a presente dissertação propõe avaliar a aplicabilidade de um modelo de exoesqueleto voltado para alívio de carga nos membros superiores em postos de trabalho no PDR, com foco na redução do risco ergonômico e no aumento da produtividade. A pesquisa se fundamenta em uma revisão dos conceitos relacionados à ergonomia e às tecnologias da Indústria 4.0, seguida de um estudo empírico para validar os benefícios potenciais do uso de exoesqueletos no ambiente industrial.

O presente trabalho justifica-se pela relevância do tema dos pontos de vista: científico-tecnológico pela aplicação dos conceitos de indústria 4.0, econômicos pela possibilidade de

aumento de produtividade e social pela possibilidade de mitigação de desconfortos, dores e até doenças ocupacionais.

### **1.1. Questão de Pesquisa**

A partir do contexto apresentado, pretende-se responder a seguinte pergunta: Baseando-se nos princípios da indústria 4.0, torna-se viável a aplicação de um exoesqueleto que proporcione uma redução do risco ergonômico em um posto de trabalho?

### **1.2. Hipótese**

A hipótese desta pesquisa sugere que a implementação de um exoesqueleto industrial para alívio de carga nos membros superiores pode reduzir o risco ergonômico e melhorar a produtividade em postos de trabalho no PDR. Espera-se que o suporte físico do exoesqueleto diminua sintomas de fadiga muscular e desconforto, especialmente em atividades repetitivas e de carga pesada, contribuindo para o bem-estar e o desempenho dos trabalhadores.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

Analisar a potencial aplicabilidade de um modelo de exoesqueleto em postos de trabalho de uma fábrica do Polo de duas rodas.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Revisar os conceitos relacionados a Ergonomia, Indústria 4.0 e exoesqueleto;
- Analisar o modelo de exoesqueleto proposto;
- Testar o exoesqueleto com possíveis usuários para validação.

### **1.4. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho é composto por 6 seções: Na primeira seção, intitulada Introdução, apresentou-se a contextualização e justificativa da pesquisa, a definição do problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos.

Na segunda seção, intitulada Fundamentação Teórica, foram abordados os principais conceitos relacionados à ergonomia, Indústria 4.0 e exoesqueletos. Esse embasamento forneceu a base teórica necessária para compreender os aspectos ergonômicos e tecnológicos aplicados à pesquisa.

A terceira seção, Metodologia, detalhou o enquadramento metodológico da pesquisa, incluindo as estratégias de coleta de dados e os procedimentos adotados para avaliação do exoesqueleto proposto. Foram descritas as etapas de análise e os métodos utilizados para validação da proposta junto aos colaboradores.

Na quarta seção, Resultados e Discussão, foram apresentados e analisados os dados obtidos durante os testes realizados com os colaboradores. Esses resultados incluíram análises sobre sintomas físicos e psicológicos, além da percepção dos trabalhadores quanto ao uso do exoesqueleto em seus postos de trabalho.

Na quinta seção, Conclusão, foram discutidos os principais achados e as limitações do estudo, além de serem sugeridas direções para pesquisas futuras, como a aplicação prolongada do exoesqueleto e sua utilização em outros ambientes e atividades industriais.

Na sexta seção, Considerações finais, são apresentadas as contribuições acadêmicas, tecnológicas, científicas, econômicas e sociais da pesquisa.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Estudo Bibliométrico

Como primeiro passo da elaboração do arcabouço teórico para o desenvolvimento do presente trabalho, foi realizado um estudo bibliométrico acerca do tema. Trata-se de uma técnica quantitativa e estatística por meio do qual é possível medir índices de produção e disseminação do conhecimento científico, a fim de se analisar a produção científica existente sobre determinado tema (Araujo, 2006).

Para tanto, foram obedecidos os seguintes passos, consecutivamente, de acordo com (Quevedo-Silva *et al.*, 2016):

- a) Definição das palavras-chave, que devem abordar o principal tema da pesquisa e das estratégias de busca com operadores booleanos;
- b) Definição das bases de dados onde serão realizadas as buscas
- c) Busca dos termos de busca nas respectivas bases de dados;
- d) Definição e aplicação dos filtros de busca: tempo de pesquisa (ano), área e subárea, se será apenas artigos publicados em periódicos ou em anais de eventos e idioma da publicação;
- e) Exportação dos dados de busca;
- f) Elaboração de matriz;
- g) Análise dos dados quantitativos.

Foram definidas as seguintes palavras-chaves para a referida busca, de acordo com o tema proposto no presente trabalho: Ergonomia, Industria 4.0 e Exoesqueleto, em português e inglês para maior abrangência na busca. A pesquisa com os termos em português retornou uma quantidade pouco significativa de resultados, logo foram considerados somente os resultados da busca com os termos em inglês. Foram ainda aplicados operadores booleanos, formando a estratégia de busca a seguir:

```
→ Assunto contém ergonomic E Assunto contém 4.0 Industry  
→ OU Assunto contém ergonomic E Assunto contém exoskeleton  
→ OU Assunto contém 4.0 Industry E Assunto contém exoskeleton
```

A base de escolhida para aplicação da busca foi o portal de periódicos Capes, o qual possui diversas outras bases indexadas. Os filtros de busca aplicados foram de publicações dos últimos 10 anos, em todas as áreas do conhecimento, publicados em livros, anais de eventos e periódicos, nos idiomas português e inglês.

O resultado da busca foi exportado para a ferramenta de gerenciamento de referências bibliográficas *Mendeley*, para estruturação da análise quantitativa da busca. Foram utilizados ainda tabelas em MS Excel para consolidação dos resultados quantitativos finais da análise.

Após este levantamento, partiu-se para a leitura e análise das publicações obtidas na busca, realizando-se filtragens em 3 etapas de leitura:

- a) Título
- b) Resumo
- c) Leitura completa

Na primeira fase, realizou-se a leitura dos títulos das publicações, excluindo-se aquelas cujo título não apresentava qualquer possibilidade de relação com o tema. Após esta primeira etapa de seleção, restaram 119 publicações cujo título está alinhado ao tema de pesquisa. Após a leitura do resumo, restaram 77 publicações cujo resumo estava alinhado ao tema da pesquisa. Finalmente, após a leitura completa das 77 publicações anteriormente selecionadas, a partir do método de leitura diagonal, restaram 16 publicações cujo título, resumo e conteúdo tem relação com o tema de pesquisa. Após a leitura detalhada das 16 publicações restantes, elegeu-se 8 publicações para serem utilizadas como arcabouço teórico para o embasamento desta pesquisa, uma vez que as demais, apesar de ter um alinhamento geral, não possuíam em seus métodos e aplicações, uma relação direta com o tema da presente pesquisa. O quadro 1 apresenta estas publicações.

Quadro 1: Publicações mais alinhadas ao tema de pesquisa.

Titulo	Autor	Ano	Repositório	Cit .
A Systematic Review on Evaluation Strategies for Field Assessment of Upper-Body Industrial Exoskeletons: Current Practices and Future Trends	Kuber, P. <i>et al.</i>	2022	Cham: Springer International Publishing, Annals of biomedical engineering	7
An industrial exoskeleton user acceptance <i>framework</i> based on a literature review of empirical studies	Elprama, S. <i>et al.</i>	2022	England: Elsevier Ltd.	11
Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical workload.	Looze <i>et al.</i>	2015	Ergonomics , 59(5), 671-681.	73 5
Influence of a passive lower-limb exoskeleton during simulated industrial work tasks on physical load, upper body posture, postural control and discomfort	Luger, T. <i>et al.</i>	2019	Applied Ergonomics , 80, 152-160.	58

Product ergonomics in industrial exoskeletons: potential enhancements for workforce efficiency and safety	Kuber, P. M., & Rashedi, E.	2020	Theoretical issues in ergonomics science, 22(6), 729-752.	12
Social Processes: What Determines Industrial Workers Intention to Use Exoskeletons?	Elprama, S. <i>et al.</i>	2020	Human Factors, 62(3), 337-350.	33
The Effect of an Active Upper-Limb Exoskeleton on Metabolic Parameters and Muscle Activity During a Repetitive Industrial Task	Blanco, <i>et al.</i>	2022	Ieee Access, 10, 16479-16488.	6
Using a Back Exoskeleton During Industrial and Functional Tasks: Effects on Muscle Activity, Posture, Performance, Usability, and Wearer Discomfort in a Laboratory Trial	Luger, Tessa, <i>et al.</i>	2023	Human Factors, 65(1), 5-21.	21

Fonte: Autor (2023)

A partir do quadro, é possível observar uma maior concentração de publicações no ano de 2022, representando 37,5% do total das 8 publicações selecionadas. Já com relação aos autores é possível observar que ocorre o fenômeno oposto, onde praticamente não se repetem os autores em cada publicação, exceto por Elprama S. *et al.*, que está presente em duas publicações. Em relação aos canais ou repositórios por meio do qual os trabalhos foram publicados, destacam-se a revista/jornal *Ergonomics*, nas estão presentes 5 das 16 literaturas selecionadas. A média de citações dos trabalhos apresentados na tabela é de aproximadamente 83 citações, com destaque para a pesquisa de Looze. *et al.* (2015), intitulada “*Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical workload*”, com 735 citações. De Looze *et al.*, (2015) apresentam um estudo no qual avaliam os efeitos de 13 diferentes modelos de exoesqueletos de aplicação em postos industriais de trabalho, concluindo que tanto as regiões dos membros inferiores, tronco e membros superiores podem ser beneficiadas com o uso destes dispositivos, e que a utilização de exoesqueletos pode contribuir na redução de fatores subjacentes associados a lesões musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho.

Apesar do alto interesse por exoesqueletos com propósito de aplicação industrial, uma implementação em larga escala de exoesqueletos na indústria ainda tem um longo caminho a percorrer. Mesmo os dispositivos passivos mais simples ainda não são amplamente utilizados na prática. Uma razão pode ser o nível de desconforto associado ao uso do exoesqueleto. Outra preocupação com relação aos dispositivos passivos diz respeito ao potencial aumento da atividade dos músculos das pernas. Este aspecto certamente precisa ser considerado em desenvolvimentos futuros em direção a produtos finais prontos para uso (Looze, *et al.*, 2015).

## 2.2. O Impacto da Indústria 4.0 no polo de duas rodas

A Indústria 4.0 trouxe uma série de transformações para o Polo de duas rodas, incluindo a automação de processos, o uso de robôs colaborativos, a digitalização do controle de produção e a integração de sistemas de monitoramento remoto. Essas inovações têm permitido ganhos significativos em termos de produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade dos produtos (Cavalcanti, 2021).

A utilização de tecnologias de monitoramento e análise de dados também possibilitou a coleta de informações em tempo real, permitindo que as empresas antecipem problemas e ajustem seus processos de forma mais eficiente. A implementação de sistemas baseados em Inteligência Artificial (IA) e *Machine Learning* (ML) tem sido uma tendência crescente no polo, ajudando as empresas a otimizar as operações e melhorar a logística (Schwab, 2017).

Os princípios da indústria 4.0 foram criados com intuito de fornecer para as organizações um guia. Seus princípios são: a interoperabilidade que é uma forma de comunicação que utiliza a internet entre o homem e fábricas inteligentes. A virtualização, que consiste na capacidade que o sistema possui para monitorar os processos tanto físicos e virtuais, possibilitando a rastreabilidade e monitoramento remotos através de sensores de dados conectados a fábrica. A descentralização, que consiste na tomada de decisões através de um sistema digital e físico, oferecendo uma tomada de decisão em tempo real do sistema produtivo e o trabalho em tempo real, que dentro do conceito de indústria 4.0 consiste em operações dentro do ambiente fabril em tempo real possibilitando o monitoramento das ações e do processo produtivo (Mendonça *et al*, 2024).

Além disso, a crescente demanda por motocicletas, tanto no Brasil quanto em mercados internacionais, oferece um cenário favorável para o crescimento e expansão das empresas do polo. As empresas que conseguirem adotar essas tecnologias e melhorar suas condições de trabalho estarão em uma posição vantajosa no mercado (Secom, 2020).

Apesar do uso generalizado de robôs e sistemas automatizados na indústria, muitos trabalhos manuais ainda são realizados pelo próprio operador, especialmente aqueles que exigem tomada de decisão ou destreza humana. Uma possível solução poderia ser a incorporação na indústria de exoesqueletos, combinando a robótica com o fator humano, uma tendência conhecida como Operador 4.0 dentro do *framework* da Indústria 4.0, que considera os trabalhadores aumentados pela tecnologia (Marello, Sacco, 2017).

Na realidade de empresas instaladas na Zona Franca de Manaus, a sobrevivência está pautada na lucratividade e adaptabilidade. Quando se enfrentam tecnologias disruptivas como as que habilitam uma indústria na maturidade 4.0 enfrentam-se dificuldades na justificativa de investimentos em projetos que nem sempre possuem um número financeiro de retorno a curto ou médio prazo. Por esse motivo é importante que os profissionais estejam capacitados e dispostos a entender que a adaptação para a nova era industrial será um fator decisivo de existência das organizações (Mendonça *et al*, 2024).

### **2.3. Ergonomia**

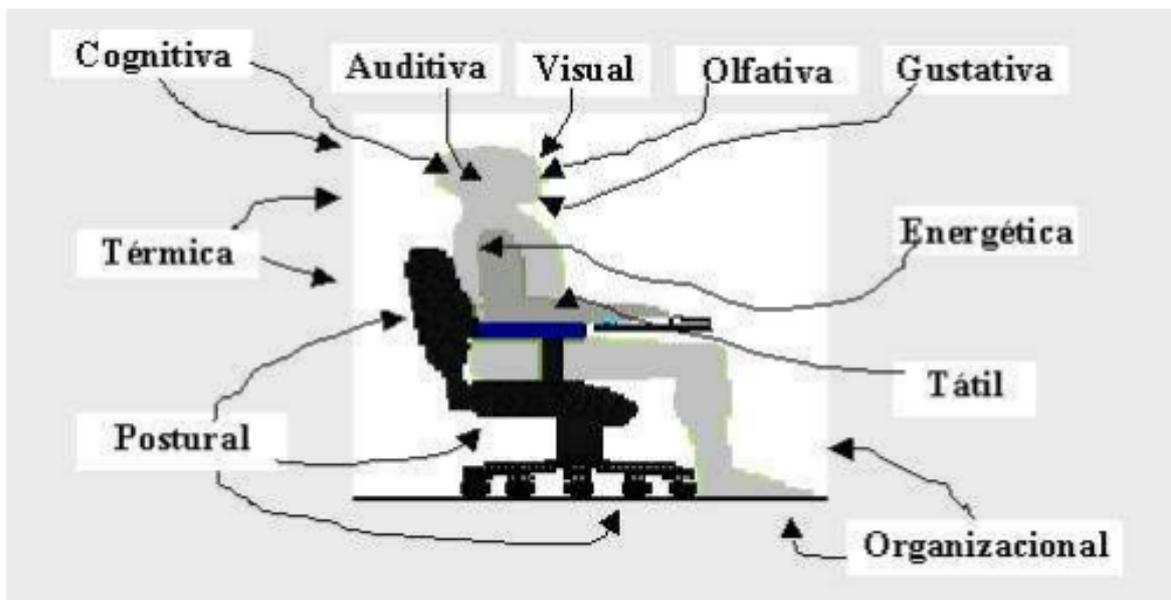
A ergonomia pode ser definida como a área do conhecimento que “estuda as interações entre seres humanos e outros elementos do sistema de trabalho, aplicando os princípios teóricos, dados e métodos, a fim de realizar projetos para otimizar o bem-estar humano” (Abergo, 2023). É uma matéria que busca adaptar as situações de trabalho às características humanas, respeitando as capacidades e limites do corpo humano, visando o bem-estar, a segurança no ambiente de trabalho, a produtividade e a qualidade (Abrahão *et al.*, 2009).

Nas indústrias, a aplicação sistemática da ergonomia é feita identificando onde ocorrem os problemas ergonômicos que podem ser reconhecidos através de sintomas como acidentes, doenças, absenteísmo e alto índice de erros (Iida; Buarque, 2021). Para diminuição destes problemas ergonômicos, visando atender às queixas musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho no uso de ferramentas manuais e manuseio de materiais, são realizadas diversas intervenções nos postos de trabalho, como o uso de manipuladores, talhas e outros dispositivos (Karvouniari *et al.*, 2018).

Ressalta-se que ergonomia adota como premissa que ações como as citadas no parágrafo anterior, necessárias para assegurar um mínimo de conforto nas operações, garantem a prevenção primária tanto a nível de saúde ocupacional como de eficiência produtiva (Vidal, 2000).

A ergonomia pode também ser entendida como uma tecnologia de interfaces, onde qualquer forma de interação entre o componente humano e os demais componentes do sistema de trabalho representam uma interface, e que, portanto, o principal objetivo desta tecnologia é que as interfaces sejam capazes de atender de forma conjunta, integrada e coerente os critérios de conforto, eficiência e segurança (Vidal, 2000). A figura 1 apresenta alguns exemplos de tais interfaces.

Figura 1: Ergonomia como uma tecnologia de interfaces



Fonte: Vidal (2000)

Observa-se, a partir da figura 1 que em um posto de trabalho relativamente simples e sem esforço físico aparente, existem diversas interfaces de interação entre o ser humano e o sistema de produção do posto, podendo ser físicas (postural, térmica, visual etc.), cognitivas ou organizacionais.

A ferramenta *Occupational Repetitive Actions* (Ações Ocupacionais Repetitivas – OCRA) avalia, por meio de dados quantitativos, os fatores de riscos presentes na atividade de trabalho, estabelecendo um índice de exposição por meio do cruzamento de dados entre o que é considerado aceitável em determinado ambiente de trabalho e o que é aplicado na realizada do posto de trabalho (Colombini *et al.*, 2006).

Investir em ergonomia não só é uma medida de responsabilidade social, mas também um fator que pode contribuir para o aumento da produtividade. A implementação de tecnologias, como os exoesqueletos, que visam reduzir o esforço físico nas atividades repetitivas, é uma tendência crescente no polo. Exoesqueletos industriais são desenvolvidos para aliviar as demandas físicas dos trabalhadores no local de trabalho e para aliviar problemas ergonômicos associados a distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho (Tiejun *et al.*, 2023).

#### 2.4. Exoesqueletos aplicados a ergonomia

O exoesqueleto é uma estrutura mecânica externa que pode ser vestida, projetada para funcionar em harmonia com o ser humano, a fim de fornecer suporte ou melhorar sua capacidade. Há dois tipos de exoesqueleto: passivo, quando fornece suporte, ou ativo, quando proporciona força adicional (Karvouniari *et al.*, 2018). A figura 2 apresenta um modelo de exoesqueleto proposto para auxílio dos membros superiores.

Figura 2: Ilustração de exoesqueleto para membros superiores



Fonte: Kaiser (2020)

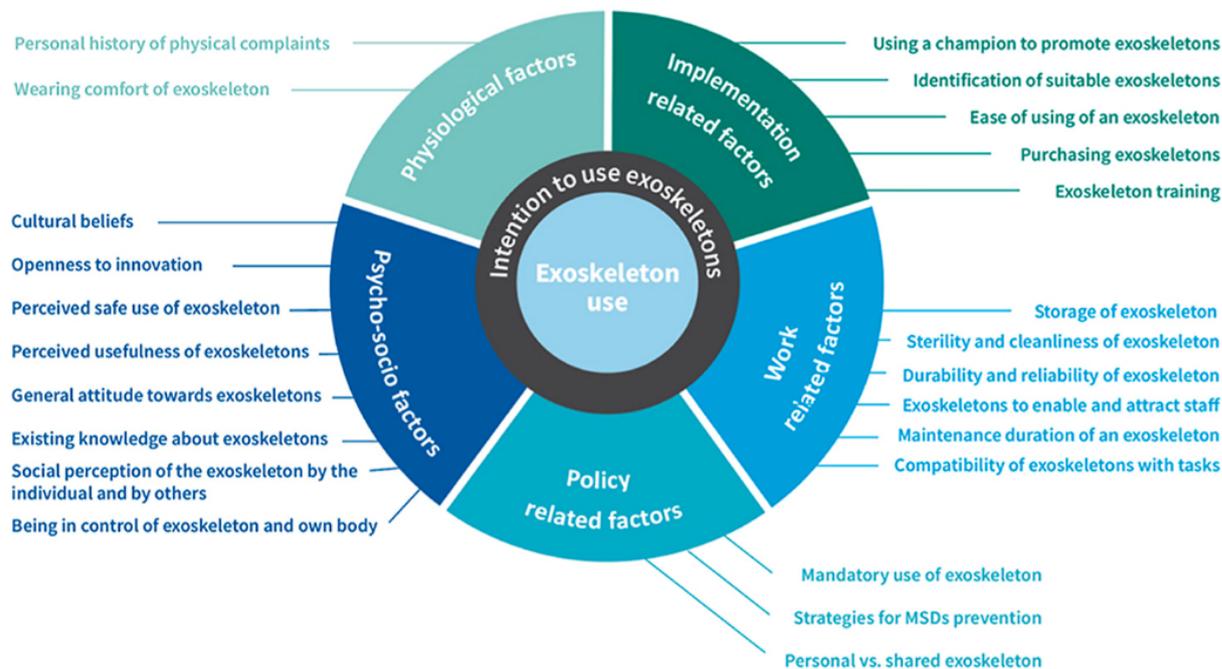
Nota-se, a partir da figura 2 que, os modelos de exoesqueletos para membros superiores são compostos de peças e articulações mecânicas e hidráulicas que são acoplados ao corpo, devendo simular os mesmos movimentos feitos pelas articulações as quais se propõem a auxiliar.

A implementação de exoesqueletos pode ser uma das soluções para aumentar a capacidade humana em direção à redução do grande número de distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho (DORTs) na indústria. Enquanto muitos estudos destacam os benefícios oferecidos por esses dispositivos, alguns mostram resultados mistos, o que pode ser devido à falta de processos padronizados tanto no desenvolvimento quanto nos testes (Kuber; Rashed, 2020).

Já Elprama S. *et al.* (2022), analisou os fatores que podem contribuir ou dificultar a aceitação de usuários em relação aos exoesqueletos, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de modelos cada vez mais confortáveis e com maior probabilidade de

aplicação. A figura 3 apresenta o *framework* gerado pelos autores, no qual os fatores são sintetizados.

Figura 3: *Framework* de fatores de aceitação do uso de exoesqueletos



Fonte: Elprama S. *et al.* (2022).

O *framework* apresentado na figura 3 classifica os fatores em 5 divisões: fatores psicológicos, psicossociais, políticos, fatores relacionados ao trabalho executado, e fatores relacionados ao processo de implementação do exoesqueleto. É possível identificar tanto fatores empíricos como o conforto ao vestir o exoesqueleto, usabilidade e compatibilidade com as tarefas, quanto fatores não tão óbvios, mas igualmente importantes, tais como a promoção do uso do exoesqueleto durante a implementação para incentivar o uso, a limpeza e esterilização deste item e a percepção social do uso do exoesqueleto tanto pelo indivíduo quanto pelos seus colegas de trabalho.

Como uma alternativa segura e econômica aos métodos empíricos/experimentais, a modelagem é considerada uma ferramenta poderosa para design e avaliação de exoesqueletos industriais. Estes exoesqueletos são amplamente considerados uma solução auspiciosa para mitigar distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho entre trabalhadores de diferentes indústrias. A principal vantagem dos exoesqueletos sobre outros tipos de sistemas robóticos (por exemplo, robôs clássicos, robôs humanoides, sistemas de automação) é a preservação da criatividade e flexibilidade humanas, o que é especialmente imperativo em ambientes de trabalho dinâmicos (Tiejun *et al.*, 2023).

## 2.5. Polo de duas rodas

O PDR se convencionou chamar o segmento produtor de motocicletas, motonetas, ciclomotores, quadriciclos e bicicletas em Manaus (FREITAS, 2009). O PDR é parte intrínseca do modelo Zona Franca de Manaus, criado no contexto do processo de globalização econômica e da descentralização da produção de bens de consumo (MELO 2010).

O PDR surgiu como uma resposta à crescente demanda por veículos motorizados, como motocicletas e bicicletas, especialmente em mercados urbanos, onde a mobilidade e o custo-benefício são fatores cruciais (Figueiredo, 2006).

A partir da década de 2000, o polo de duas rodas ganhou relevância, com o aumento da produção de motocicletas no Brasil e a criação de uma infraestrutura dedicada à fabricação de componentes e veículos de duas rodas. O polo atualmente engloba um ecossistema diversificado, composto por fábricas de motocicletas, fabricantes de peças, fornecedores de tecnologia e serviços de logística, além de ser um dos maiores centros de produção de motocicletas da América Latina (Secom, 2020).

A indústria de duas rodas no Distrito Industrial de Manaus é marcada pela forte presença de grandes montadoras, como Honda, Yamaha e Dafra, que estão entre as maiores produtoras de motocicletas do Brasil e da América Latina. Atualmente o PIM já passa por um outro processo que vem sendo difundido e incentivado, o desenvolvimento da indústria 4.0. No que diz respeito a terceira revolução industrial, que veio com o advento do uso de máquinas automatizadas, computadores e a internet, já foi de grande desenvolvimento e avanço para as empresas que a adotaram (Mendonça *et al*, 2024).

Muitas das empresas do Polo de duas rodas estão adotando tecnologias como automação, robótica, Internet das Coisas (IoT) e análise de dados para otimizar os processos produtivos e reduzir custos. Essas inovações tecnológicas são especialmente relevantes em um contexto de alta competitividade, onde a eficiência e a redução de custos operacionais são fatores chave para a sobrevivência das empresas (Schwab, 2017).

Apesar de sua importância econômica, o Polo de duas rodas enfrenta diversos desafios, especialmente relacionados à competitividade, sustentabilidade e bem-estar dos trabalhadores. Alguns dos principais desafios incluem:

a) Concorrência internacional: O lançamento da pedra fundamental do Distrito Industrial ocorreu em 30 de setembro de 1968, dando início ao processo de criação do Polo

Industrial de Manaus (PIM). Desde a sua criação vem rendendo bons frutos tanto em faturamento, empregabilidade, importação e exportação. Porém, o PIM enfrenta a concorrência de produtos importados, o que exige uma constante busca por inovação e redução de custos (Mendonça *et al*, 2024).

b) Sustentabilidade: A crescente demanda por práticas industriais mais sustentáveis e a pressão por uma produção ecologicamente responsável exigem que as empresas do polo invistam em tecnologias limpas e soluções de baixo impacto ambiental. A Superintendência da Zona Franca de Manaus é uma autarquia vinculada ao Ministério de Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior, foi criada para desenvolver atividades industriais, comerciais e agropecuárias, sendo a responsável pela criação do Polo Industrial de Manaus em decorrência dessas três atividades, de maneira que desenvolvesse um modelo regional sustentável (Mendonça *et al*, 2024)

c) Ergonomia e saúde dos trabalhadores: Muitos postos de trabalho no polo envolvem atividades repetitivas e que exigem esforço físico, como a montagem de motocicletas e a manipulação de peças pesadas. Isso pode resultar em lesões musculoesqueléticas e problemas de saúde, o que torna a implementação de soluções ergonômicas um desafio importante (Gomes *et al.*, 2013).

No caso do Polo Industrial de Manaus, a transição para a Indústria 4.0 tem sido fundamental para garantir a competitividade das empresas locais. Porém, um dos principais desafios, segundo Gonçalves *et al.* (2020), é a necessidade de capacitação e treinamento dos trabalhadores para lidar com as novas tecnologias. Além disso, a integração de sistemas de informação e de produção pode apresentar problemas de compatibilidade e segurança, que precisam ser abordados de forma cuidadosa.

No entanto, é importante reconhecer que nem todas as empresas foram capazes de acompanhar o ritmo acelerado do mercado atual. Uma das razões para isso é a falta de ênfase na formação de profissionais capacitados para lidar com equipamentos mais avançados e complexos. A adaptação às novas tecnologias pode variar amplamente, dependendo do tamanho e da capacidade das empresas, resultando em diferentes graus de maturidade. O tempo necessário para se adaptar pode variar de acordo com o porte das empresas, resultando em diferentes níveis de maturidade (Lima, Santiago, Oliveira Junior, 2022).

Para que as empresas da Zona Franca de Manaus possam competir efetivamente no mercado atual, é fundamental investir na formação e capacitação de profissionais para lidar com as demandas tecnológicas em constante evolução. Dessa forma, elas poderão aproveitar

plenamente os benefícios da zona franca e impulsionar o desenvolvimento econômico sustentável na região.

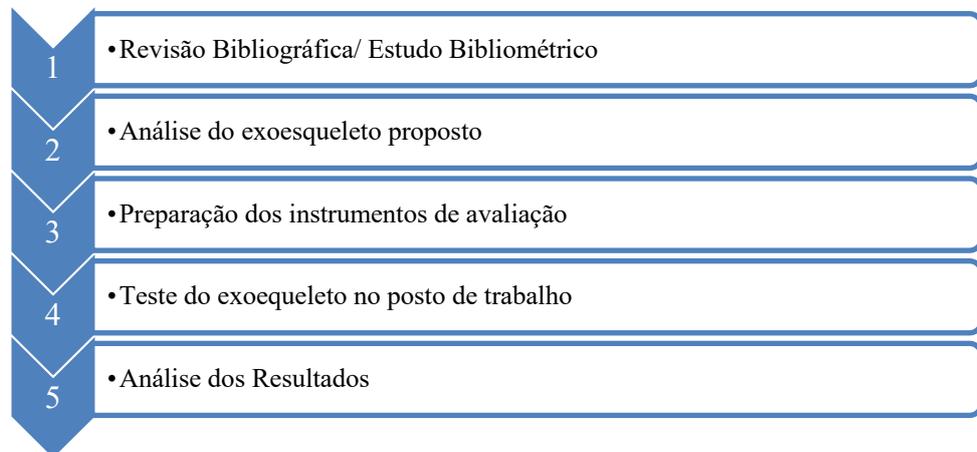
### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, uma vez que busca gerar conhecimentos para aplicação prática no contexto da implementação de exoesqueletos em postos industriais (Gil, 1994). Adotou-se uma abordagem mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos por meio de pesquisa bibliográfica, análise crítica do modelo de exoesqueleto e entrevistas estruturadas com usuários potenciais para validação da proposta (Augusto *et al.*, 2013; Gewandsznajder; Alves-Mazzotti, 1998).

Quanto aos objetivos, classifica-se como pesquisa descritiva, cuja finalidade é explorar características sobre um tema conhecido utilizando técnicas padronizadas de coleta de dados (Gil, 2002). Para tanto, utilizou-se entrevistas estruturadas, visando obter informações que possam auxiliar na validação do modelo de exoesqueleto.

Quanto aos procedimentos metodológicos, a pesquisa seguiu uma sequência estruturada de etapas, conforme ilustrado na Figura 4, abrangendo desde a revisão bibliográfica até a validação empírica do modelo proposto.

Figura 4 - Etapas metodológicas



Fonte: Autor (2023)

**Revisão bibliográfica:** Foi realizada uma pesquisa bibliométrica nas bases de dados do Portal de Periódicos CAPES e Google Acadêmico, utilizando termos como “*Ergonomia AND Indústria 4.0 AND Exoesqueleto*”, com foco em publicações dos últimos 10 anos. Identificaram-se 652 publicações, das quais 16 foram selecionadas após análise de relevância.

**Análise do modelo de exoesqueleto:** Avaliaram-se as características técnicas do modelo proposto, visando atender aos requisitos ergonômicos dos postos de trabalho na linha de montagem de motocicletas.

**Desenvolvimento dos instrumentos de avaliação:** Foi preparado um *check-list* (ANEXO 1) para entrevistas, adaptado das escalas de Couto, composto por 24 perguntas, subdivididas em três categorias: Sintomas psicológicos (5 itens, escala de 0 a 8), Sintomas físicos (9 itens, escala de 0 a 8) e Percepção do posto de trabalho (10 itens, escala de 0 a 4).

As respostas foram obtidas antes e após o uso do exoesqueleto, com o objetivo de medir o impacto na percepção dos colaboradores em relação ao ambiente de trabalho.

**Testes empíricos:** Aplicação do exoesqueleto em quatro postos de trabalho seguindo os critérios da ferramenta OCRA (Colombini *et al.*, 2006). Os testes ocorreram em um ambiente de produção real com duração de cinco dias. Os postos de trabalho foram selecionados com base em dois critérios principais:

- a) Alto risco ergonômico, conforme avaliação pela ferramenta OCRA.
- b) Ambientes fisicamente restritos, que impedem a instalação de equipamentos tradicionais de ergonomia, como talhas ou manipuladores.
- c) Os testes foram divididos em duas fases:
- d) Fase introdutória: Treinamento dos colaboradores sobre o uso do exoesqueleto, incluindo orientações de segurança.
- e) Fase de coleta de dados: Aplicação do *check-list* ao final de cada expediente, durante cinco dias consecutivos, comparando os resultados antes e após o uso do equipamento.

Os dados foram analisados em termos de médias e variações, buscando identificar tendências e padrões de melhoria ou piora nos sintomas relatados pelos colaboradores.

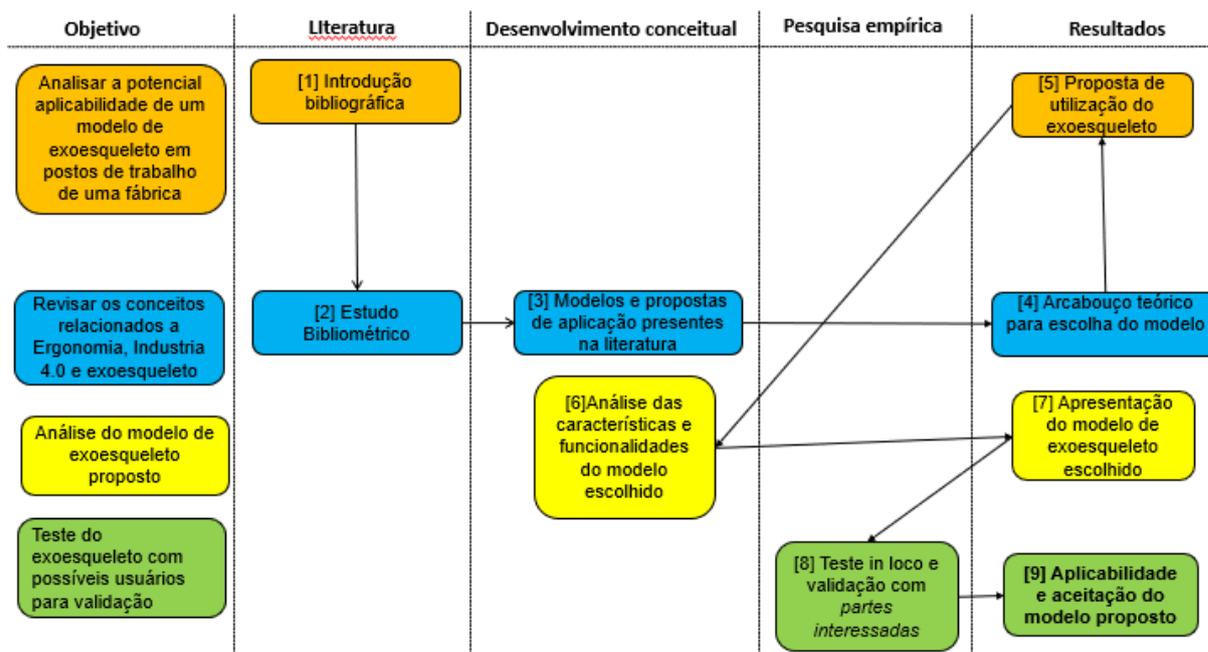
**Coleta e análise de dados:** Os dados coletados foram tratados em planilhas MS Excel, utilizando análises descritivas para comparar a percepção dos usuários antes e depois da utilização do exoesqueleto.

O modelo de fases demonstra como cada etapa se relaciona com os objetivos do trabalho, estando divididas em 4 fases: literatura, desenvolvimento conceitual, pesquisa empírica e resultados teóricos e empíricos. Observa-se que tanto as etapas de revisão de literatura quanto de estudo bibliométrico estão colocadas como iniciais, na fase de literatura. Já na fase de desenvolvimento conceitual, foram estabelecidas as etapas de verificação dos modelos de exoesqueletos e suas respectivas propostas de aplicação já existentes, presentes na literatura, bem como a análise das características e funcionalidades do modelo proposto. Na fase de pesquisa empírica, ocorrem os testes do exoesqueleto proposto nos postos de trabalho e validação com os usuários. Na fase de resultados, o primeiro resultado obtido é o arcabouço teórico para avaliação e escolha do modelo de exoesqueleto, que antecede a etapa de

apresentação da proposta de utilização do exoesqueleto. Tem-se ainda nesta mesma fase a etapa apresentação do modelo de exoesqueleto proposto, e por fim, após a etapa de testes, ainda na fase de resultados está a avaliação da aplicabilidade e aceitação do modelo proposto.

A figura 5 apresenta o modelo de fases desenhado para esta pesquisa.

Figura 5: Modelo de fases metodológicas



Fonte: Autor (2023)

O quadro 2 relaciona ainda os resultados esperados a cada objetivo específico, que por sua vez estão vinculados ao objetivo geral:

Quadro 2: Objetivos x resultados esperados

Objetivo Geral	Objetivos Específicos	Resultados Esperados
Analisar a potencial aplicabilidade de um modelo de exoesqueleto em postos de trabalho de uma fábrica	Revisar os conceitos relacionados a Ergonomia, Industria 4.0 e exoesqueleto	Arcabouço teórico para escolha do modelo
	Análise do modelo de exoesqueleto proposto.	Apresentação do modelo de exoesqueleto escolhido
	Teste do exoesqueleto com possíveis usuários para validação	Aplicabilidade e aceitação do modelo proposto

Fonte: Autor (2023)

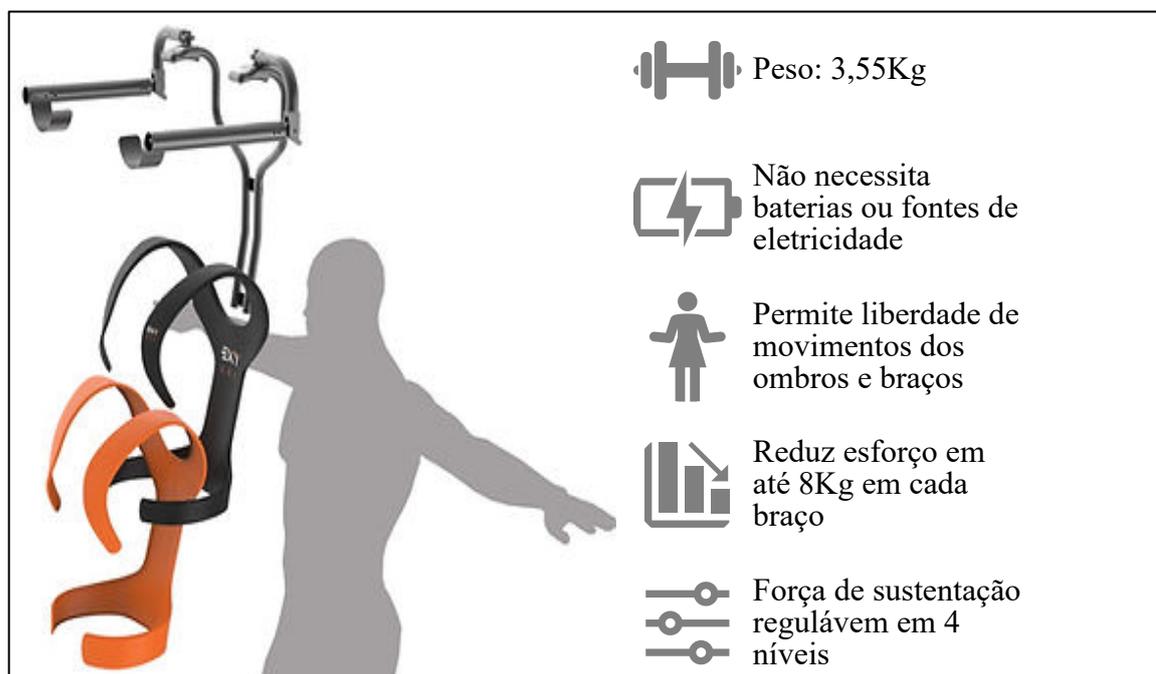
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Apresentação do modelo de exoesqueleto

Para a realização desta pesquisa, foi proposto o uso de um exoesqueleto cujas características e especificações foram selecionadas com base nos postos de trabalho onde se planejava testá-lo, assim como nas atividades realizadas. Considerando que a aplicação do equipamento se destina a postos de linha de montagem de motocicletas, onde os membros superiores são empregados para o manuseio de ferramentas e componentes pesados durante jornadas de trabalho de aproximadamente 8 horas diárias, optou-se pelo modelo de exoesqueleto industrial mecânico ativo para membros superiores. Esse modelo não requer baterias ou eletricidade para operar e é capaz de aumentar a mobilidade do usuário, atuando no complexo do ombro, braços e costas, o que contribui para a redução substancial do risco de lesões no ombro.

A figura 6 apresenta as características e a representação visual do modelo de exoesqueleto escolhido.

Figura 6: Modelo de exoesqueleto para membros superiores



Fonte: Autor (2023)

A partir da figura 6 é possível observar que as características do modelo de exoesqueleto apresentado são estrategicamente voltadas para atender as necessidades específicas de acordo com o tipo de atividade executada nos postos de trabalho onde se pretende testar o equipamento. O equipamento é relativamente leve, pesando 3,5Kg para que, mesmo adicionando o peso das

ferramentas utilizadas para a realização das atividades, o exoesqueleto possa ser suportado pelo usuário por horas seguidas com menor desconforto ou lesões. Outra característica relevante é o fato de o equipamento ser puramente mecânico, não necessitando de qualquer alimentação de energia elétrica para seu funcionamento. Com isso, espera-se mitigar o risco de descargas elétricas para o usuário e aumentar a praticidade do uso, podendo ser deslocado para locais que não possuem fontes de energia elétrica próximas.

O equipamento também visa mitigar a limitação dos movimentos dos ombros e braços, para que todas as atividades do posto de trabalho sejam realizadas com total liberdade de movimento. O exoesqueleto tem como objetivo principal aliviar a carga concentrada nos braços, reduzindo o esforço realizado para a sustentação da carga em até 8kg de cada lado, podendo ser regulada em níveis, a depender da preferência do usuário.

De acordo com a classificação de Karvouniari *et al.*, (2018), o modelo apresentado classifica-se como passivo, uma vez que oferece apenas suporte e distribuição da carga, não proporcionando força adicional ao usuário.

#### **4.2. Definição dos postos de trabalho e usuários para aplicação do teste**

A definição dos postos e usuários do exoesqueleto foi feita com base em dois critérios:

- a) Postos classificados em alto risco ergonômico, conforme avaliação realizada por meio da ferramenta OCRA (*Occupational Repetitive Actions*) de avaliação postural e repetitiva, conforme conceito apresentado por *Colombini et al* (2006).
- b) Postos com ambientes considerados “poluídos” (ausência de espaço físico) que não permitiam a instalação de outros equipamentos de melhoria como talhas e/ou manipuladores.

A partir dos 2 critérios supracitados, foram escolhidos 4 processos para realização dos testes:

- a) Processo de retirada de decalque;
- b) Processo de gravação do chassi;
- c) Processo de montagem da bobina;
- d) Processo de montagem coluna direção.

De cada um dos processos acima, foi escolhido um colaborador para participação no experimento, utilizando o exoesqueleto e respondendo a entrevista. Para proteger a identidade dos participantes, os nomes dos colaboradores foram trocados por letras sequenciais do alfabeto, de A a D. A figura 7 apresenta um exemplo de um posto considerado com “poluído”.

Figura 7: Foto de processo produtivo “poluído”



Fonte: Autor (2023)

Na figura 7 pode-se observar que um posto de trabalho com uma grande quantidade de equipamentos, cabos e mangueiras, razão pela qual é considerado posto de trabalho poluído.

O quadro 3 apresenta um panorama geral dos perfis dos colaboradores participantes.

Quadro 3: Perfil dos colaboradores participantes

Processo	Colaborador	Idade	Experiencia
Retirada de decalque	A	26 anos	6 anos e 6 meses
Gravação do chassi	B	34 anos	4 anos e 5 meses
Montagem da bobina	C	32 anos	2 anos e 5 meses
Montagem coluna direção	D	35 anos	2 anos e 3 meses

Fonte: Autor (2023)

A partir do quadro 3 pode-se observar que os colaboradores possuem experiência nos processos avaliados, sendo o menor tempo de experiência do colaborador D com 2 anos de 3 meses. Todos os colaboradores foram bem avaliados por sua gestão e não possuem históricos de afastamentos, doenças ocupacionais ou acidentes de trabalho. Antes do início dos testes foi realizado um exame cinesiológico funcional para a confirmação se estavam aptos.

### 4.3. Instrumento para coleta de dados

Para coletar dados sobre a percepção dos usuários em relação ao uso do equipamento proposto, foi aplicada uma entrevista para responder a um *Check-list* composto por 24 perguntas divididas em duas categorias: *Check-list* de Couto e *Check-list* de percepção do posto de trabalho.

O *check-list* de couto foi subdividido em duas categorias: sintomas psicológicos e sintomas físicos. A primeira categoria contém 5 perguntas e a segunda contém 9 perguntas, ambas com uma escala decrescente de 0 a 8, em que notas menores indicam melhores condições.

O *Check-list* de percepção do posto de trabalho, com 10 perguntas, com escala variando de 0 a 4 e sentido crescente, ou seja, quanto maior melhor. Cada uma das categorias possuía objetivos avaliativos, conforme esquema apresentado na figura 8.

Figura 8: Categorias de avaliação



Fonte: Autor (2024)

Na categoria sintomas psicológicos, o objetivo foi a verificação dos quesitos de estado de espírito como: cansaço, concentração, nervosismo e produtividade. Já a categoria sintomas físicos teve como objetivo a verificação dos quesitos relacionados a dores corporais como: pescoço, ombro, costas, lombar, coxas, pernas, pés, cabeça, braços, punhos e mãos.

Por fim, o *Check-list* de percepção do posto de trabalho teve como objetivo identificar a relação do colaborador com seus pares, chefias, subordinados e empresa, tais como: disposição, satisfação com o trabalho, relacionamento com colegas e chefes, ambiente de trabalho e ginástica laboral.

#### **4.4. Realização dos testes e coleta de dados**

A pesquisa idealmente previa a realização de testes e entrevistas por um mês, visando obter uma maior quantidade de dados para enriquecer a análise estatística. No entanto, a coleta de dados prolongada foi inviabilizada pela falta de aprovações e homologações do exoesqueleto por órgãos regulatórios brasileiros.

Deste modo, os testes com colaboradores, bem como a coleta de dados, ocorreram no próprio ambiente de trabalho, durante um período de 5 dias (04 a 08 de março de 2024). O protocolo de testes foi aplicado em duas fases, chamadas de fase introdutória e fase de coleta de dados, descritas a seguir.

##### **4.4.1. Fase 1: Introdutória**

Nesta primeira fase, cujo objetivo era preparar os colaboradores para a aplicação do teste, foram apresentados a todos os colaboradores participantes os objetivos da pesquisa e detalhado todo o protocolo de implementação, incluindo o cronograma de testes e os *check-lists* que seriam respondidos nas entrevistas. Além disso, os equipamentos foram apresentados aos colaboradores, os quais receberam orientações sobre a correta utilização dos equipamentos, bem com a maneira e sequência adequada para vesti-lo e os pontos de ajustes ao corpo.

A partir de então, fez-se de suma importância realizar com os usuários testadores um treinamento sobre o dispositivo de retirada rápido do equipamento em caso de evacuação de emergência.

##### **4.4.2. Fase 2: Coleta de dados**

Nesta segunda fase, os *check-lists* foi apresentado novamente aos testadores, desta vez em maior aprofundamento, percorrendo todas as 24 perguntas, explicando as régua de pontuação de 0 a 8 ou de 0 a 4 em cada uma delas, bem como o sentido das escalas de “quanto maior melhor” e “quanto menor melhor” e, além disso, esclarecendo todas as dúvidas e

questionamentos por parte dos testadores, a fim de garantir a qualidade no preenchimento do formulário, tendo em vista que este é um quesito de suma importância para a obtenção de dados que subsidiarão os resultados da pesquisa.

Em seguida foram realizadas as entrevistas para responder os *check-lists*, sempre em um ambiente neutro e silencioso, e ao final de cada expediente, aproveitando a fatia final da jornada de trabalho de oito horas. No primeiro dia, as entrevistas foram aplicadas sem que tenha ocorrido a utilização do equipamento pelos colaboradores. Já nos três dias seguintes, a coleta de dados se deu após a utilização do equipamento pelos colaboradores durante todo o turno de trabalho, a fim de se fazer um comparativo de antes e depois da utilização do equipamento.

#### 4.5. Resultados obtidos após a aplicação dos testes

Após decorridos os 4 dias de aplicação de testes, os dados obtidos por meio do preenchimento dos *check-lists* foram tratados em ferramenta Ms Excel, por meio de planilhas, fórmulas, tabelas e gráficos. A escolha desta ferramenta para tratamento, análise e consolidação dos dados se deu pela disponibilidade da ferramenta no pacote de ferramentas da empresa, e por entender-se que esta era suficiente para o volume de dados e variáveis da pesquisa.

O quadro 4 apresenta um panorama dos resultados obtidos com as médias gerais de cada categoria de avaliação.

Quadro 4: Panorama geral das avaliações

Sintomas psicológicos (quanto menor, melhor)		Sintomas físicos (quanto menor, melhor)		Percepção do posto de trabalho (quanto maior, melhor)	
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
4,0	3,5	4,0	5,4	2,7	2,6

Fonte: Autor (2024)

A partir dos dados apresentados no Quadro 4, pode-se visualizar por meio do código de cores aplicado no momento depois da utilização do equipamento, onde verde sinaliza que houve melhora na percepção do colaborador em comparação ao que era antes da utilização do exoesqueleto, amarelo sinaliza que a percepção se manteve estável, ou seja, não houve melhora nem piora, e vermelho sinaliza uma piora.

A partir do Quadro 4, e do código de cores apresentado, podemos inferir que, considerando a média geral dos 4 processos, apenas a categoria de sintomas psicológicos apresenta resultado melhor no momento após a utilização do equipamento. Por outro lado, a

categoria de sintomas físicos foi a que pontuou maior variação considerada como piora em relação ao momento anterior a utilização do exoesqueleto, fato inesperado, tendo em vista que esta seria a categoria que se acreditava que o exoesqueleto traria maior impacto positivo. Já a categoria de percepção do posto de trabalho, apresentou queda de apenas 0,1 pontos na média geral em relação ao estado inicial, podendo ser considerada que não houve melhora nem piora, mantendo-se estável.

Uma das possíveis razões para a categoria de sintomas físicos ter apresentado piora, pode ser a falta de costume ou de proficiência no uso deste pelos colaboradores, devendo provavelmente ter um tempo para o corpo adaptar-se ao design do equipamento.

Para um maior detalhamento do panorama apresentado anteriormente, o quadro 5 apresenta os resultados obtidos com as médias gerais de cada categoria de avaliação para cada processo e seu respectivo colaborador.

Quadro 5: Panorama das avaliações – processos e colaboradores x categorias

Processo	Colaborador	Sintomas psicológicos (quanto menor, melhor)		Sintomas físicos (quanto menor, melhor)		Percepção do posto de trabalho (quanto maior, melhor)	
		Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Retirada de decalque	A	5,4	3,8	6,2	6,4	2,7	2,7
Gravação do chassi	B	3,8	3,6	5,8	4,4	2,5	2,2
Montagem da bobina	C	1,6	2,9	3,0	6,4	3,0	2,9
Montagem coluna direção	D	5,2	3,7	1,0	4,3	2,6	2,6

Fonte: Autor (2024)

O quadro 5 apresenta o mesmo código de cores do panorama apresentado acima. Neste quadro, as colunas apresentam o antes e depois de cada categoria, enquanto as linhas representam cada processo e seu respectivo colaborador participante. Deste modo, podemos facilmente identificar em quais processos cada categoria apresentou melhora, piora ou se manteve sem variar.

Na análise das colunas, ou seja, as categorias analisadas, pode-se observar que, em concordância com as médias gerais, a coluna de sintomas psicológicos recebeu média melhor pela maioria dos colaboradores, enquanto a categoria de sintomas físicos recebeu médias consideradas piores pela maioria, e a percepção do ambiente de trabalho se manteve a mesma de antes para a maioria destes.

Enquanto nas linhas, que representam cada processo e colaborador, sobressai-se o colaborador do processo de gravação de chassi, que pontuou melhora em todas as categorias avaliadas, o que pode indicar que este processo é promissor para início da implementação de

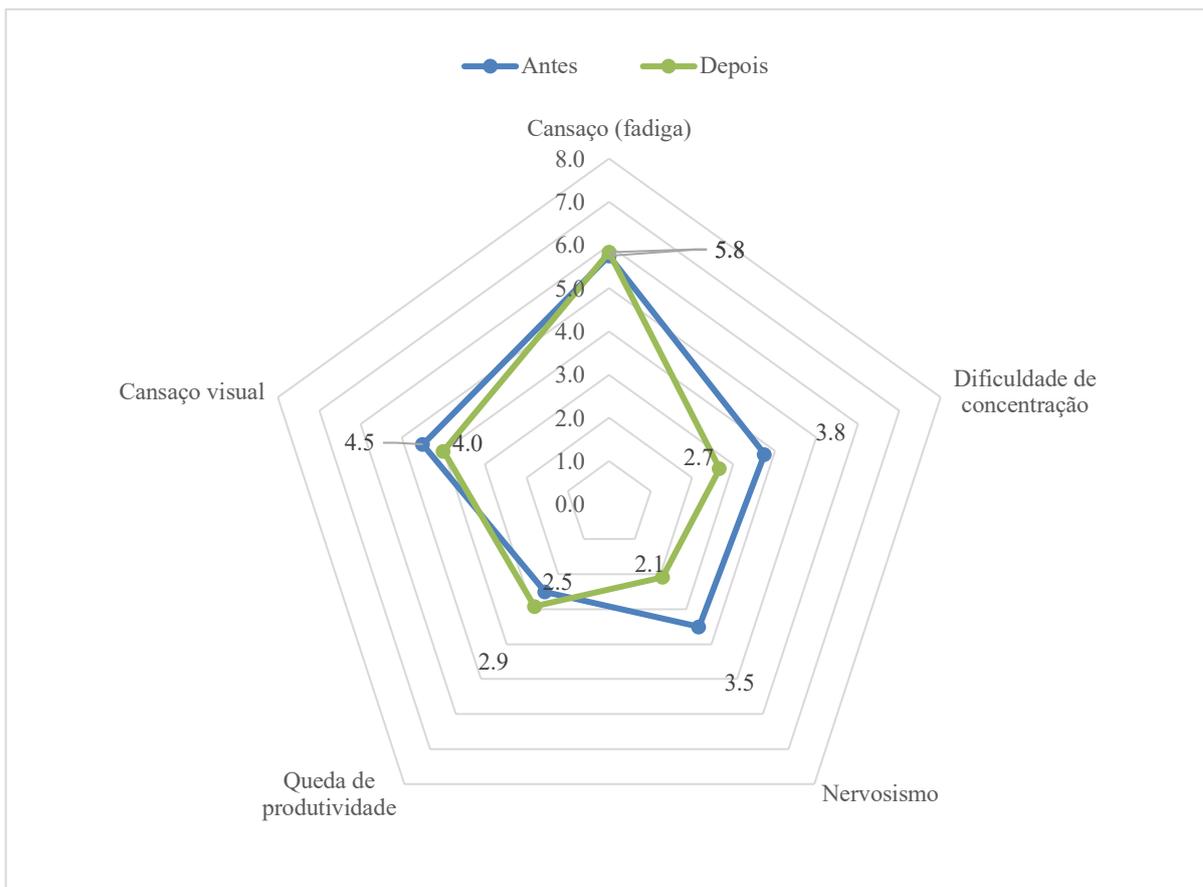
exoesqueletos. Já o processo de montagem de bobina avaliou como piora 2 das 3 categorias avaliadas, o que pode indicar que este processo tenha necessidades específicas que precisam ainda ser atendidas antes da implementação do exoesqueleto.

Outro fator relevante no quadro é a variação entre a percepção dos usuários no estado antes do uso do equipamento, nas categorias de sintomas psicológicos e sintomas físicos. Um exemplo disto é a diferença na média de 5,4 no processo de retirada do decalque contra 1,6 pontos na montagem da bobina para a categoria de sintomas psicológicos, e principalmente na categoria de sintomas físicos, onde a maior pontuação é de 6,2 no processo de retirada do decalque, contra a menor de 1,0 no processo de montagem coluna direção. Essa variação pode indicar que os processos possuem características que causam percepções distintas em seus colaboradores em uma determinada categoria, seja pelas especificidades no ambiente, no clima organizacional ou no tipo de atividade realizada em cada processo. A variação na categoria sintomas físicos, por exemplo, possivelmente indica que as atividades realizadas no processo de montagem coluna direção causam muito menos desconforto físico do que as realizadas no processo de retirada do decalque.

Quanto à variação entre as médias nos momentos antes e depois do uso do exoesqueleto, observa-se que a maior variação para melhor encontra-se no processo de retirada do decalque, na categoria sintomas psicológicos, com uma diferença de 1,6 pontos entre antes e depois, representando uma queda de 30% em relação a média inicial. Por outro lado, a maior variação para pior nas médias se deu no processo de montagem da bobina, na categoria de sintomas físicos, com uma variação de 3,4 pontos entre antes e depois, representando um aumento de 112% em relação a média inicial.

Para um maior detalhamento da composição das médias em cada categoria, foram analisados os critérios que compõem cada uma das categorias, e suas respectivas médias. O Gráfico 1 apresenta o detalhamento da categoria de sintomas psicológicos.

Gráfico 1: Critérios de sintomas psicológicos – antes x depois



Fonte: Autor (2024)

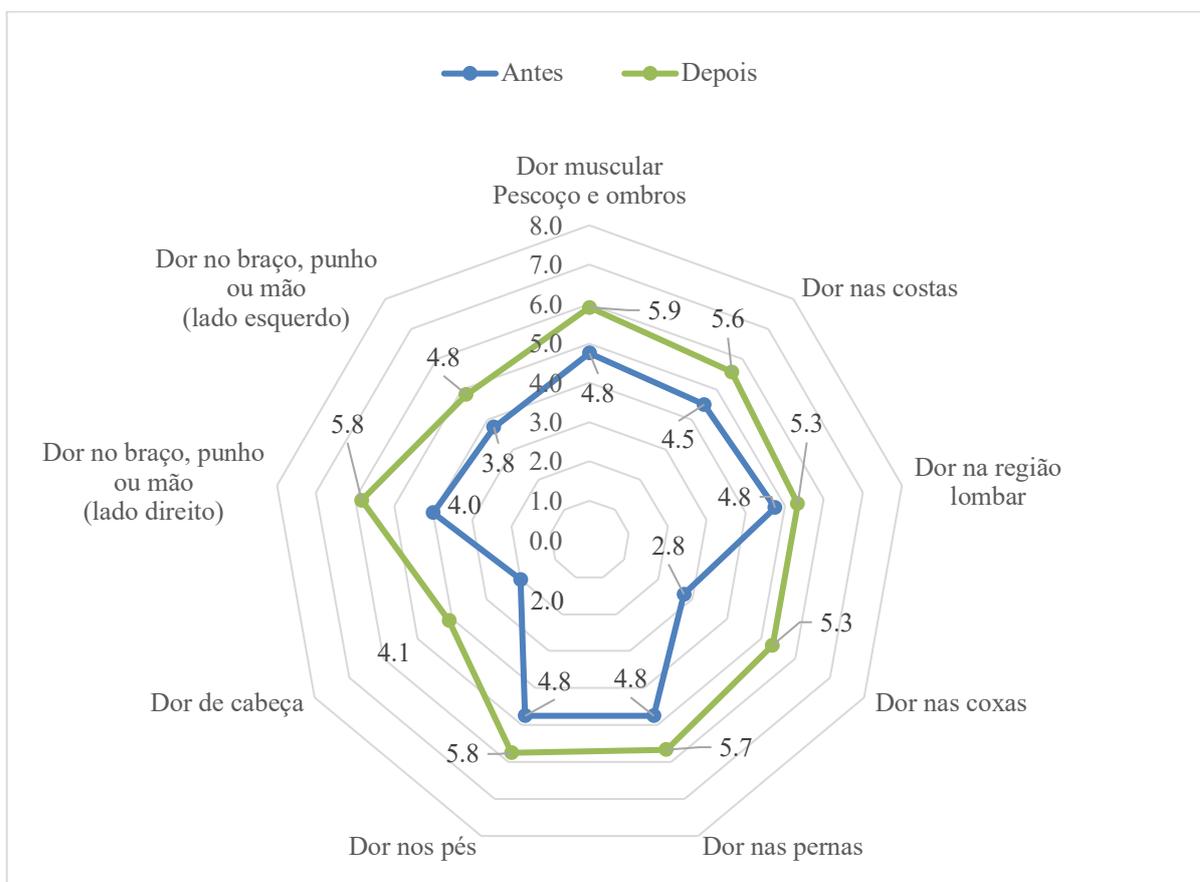
O gráfico 1, em formato de teia, apresenta as médias de cada um dos critérios que compõem a categoria de sintomas psicológicos, nos momentos antes e depois do uso do exoesqueleto. A cor azul representa o momento antes e a cor verde representa o momento depois do uso do equipamento. Considerando que o sentido de escala desta categoria é quanto menor, melhor, entende-se que a interpretação do gráfico deve ser de que, se o desenho em verde, que representa o momento depois, está inscrito, ou seja, é menor que o desenho em azul, que representa o momento antes, a categoria apresenta melhora em seus critérios. Em oposição, se o desenho em verde está maior que o desenho azul, indica que houve piora nos critérios desta categoria. Por fim, se o desenho verde sobrescrever, ou seja, cobrir o desenho azul, indica que as médias se mantiveram iguais nos dois momentos, não havendo variação na pontuação.

De acordo com o desenho gerado no gráfico 1, conclui-se que esta categoria obteve melhora na maioria de seus critérios, com exceção do critério de queda de produtividade, onde a média do momento depois foi maior que do momento antes, indicando que houve piora neste critério. Uma possível explicação para esta queda de produtividade, seja a necessidade de

adaptação do uso do equipamento pelos colaboradores, para que estes se tornem tão ou mais ágeis na realização das atividades como são atualmente, sem o uso do exoesqueleto.

O critério cansaço (fadiga) chama a atenção pela alta pontuação que teve, recebendo média de 5,8 pontos em ambos os momentos antes e depois do uso do equipamento, o que pode indicar que este critério seja uma das necessidades mais pungentes em todos os processos analisados. Seguindo esta mesma linha de análise, o gráfico 2 apresenta o detalhamento da categoria de sintomas físicos.

Gráfico 2: Critérios de sintomas físicos – antes x depois



Fonte: Autor (2024)

Ao adotarmos o mesmo código visual e princípio de análise do gráfico 1, nota-se que no gráfico 2 o desenho em verde ficou maior que o desenho em azul em todos os pontos, o que indica que nesta categoria houve piora na média em todos os critérios avaliados, com destaque para os critérios de dor nas coxas e dor de cabeça, que apresentaram maior variação em relação à média inicial.

Uma possível explicação para a piora nos sintomas físicos de modo geral seja a necessidade de adaptação do corpo dos usuários com o exoesqueleto ao longo do tempo, e de

refinamento dos ajustes do equipamento ao corpo, em linha com o *framework* de Elprama S. *et al.* (2022), que indica o conforto na vestimenta do exoesqueleto como um fator que impacta diretamente na aceitação da aplicação deste tipo de equipamento.

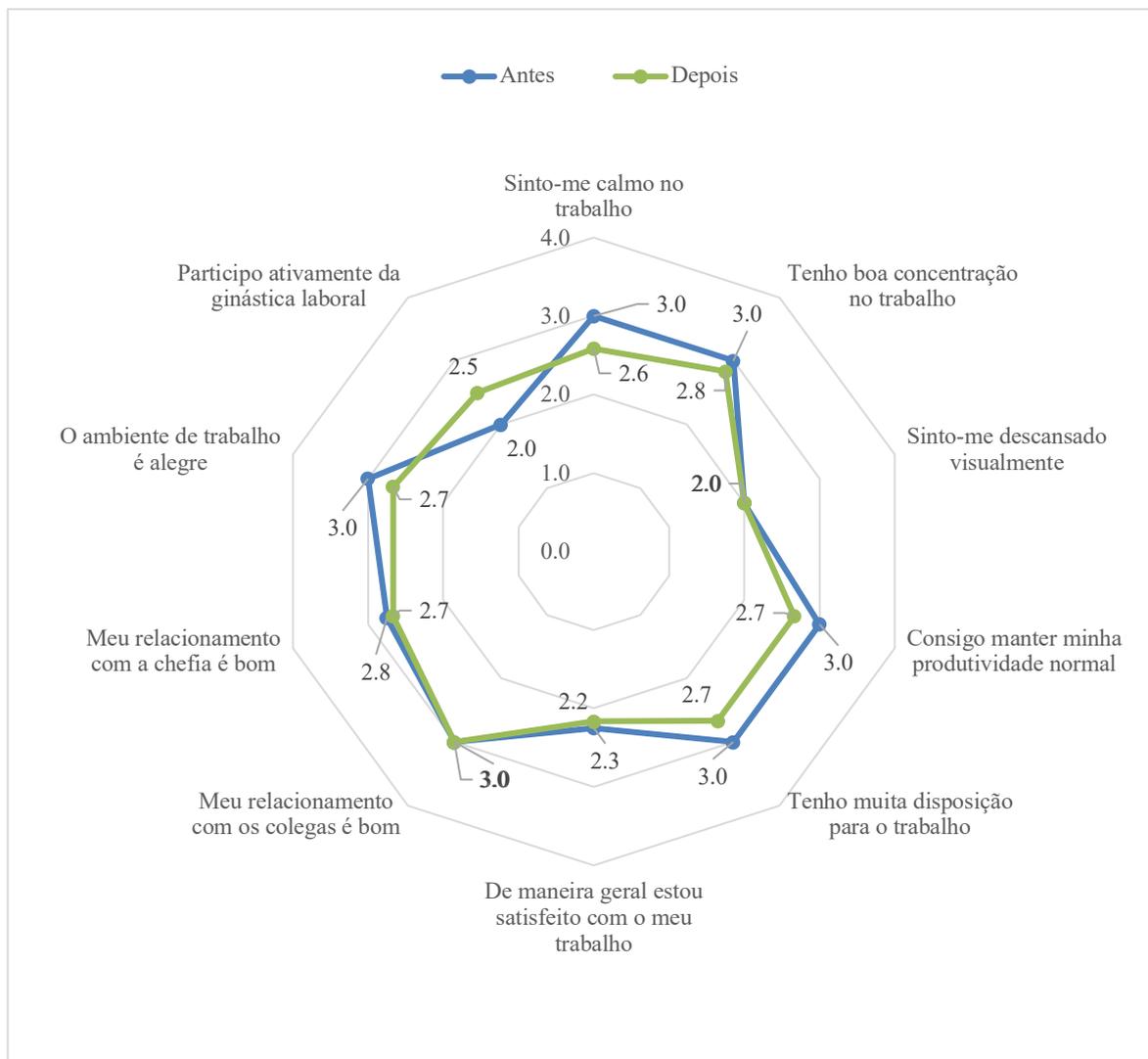
Já a sensação de dor nas coxas pode se dar ao fato de o exoesqueleto distribuir a carga que outrora fica concentrada apenas nos membros superiores para a região do quadril, o que pode aumentar a sensação de carga e conseqüentemente a fadiga nos membros inferiores. Já a dor de cabeça pode ser um sintoma secundário, no qual esteja refletindo a reação a algum desconforto físico em qualquer outra parte do corpo ou até mesmo psicológico.

É possível ainda identificar, a partir do desenho do gráfico, que se destacam os critérios de dores no pescoço e ombro, dor no braço, punho ou mão do lado direito e dores nos pés com pontuações elevadas já no momento antes do uso do exoesqueleto pelos colaboradores, aumentando proporcionalmente em cada um deles após o uso. A dor nos ombros e pescoço pode sinalizar uma oportunidade de adequação postural no posto de trabalho.

Já a dor no braço, punho ou mão do lado direito pode indicar que os colaboradores são destros, ou utilizam apenas o lado direito para realizar a maioria das atividades do processo, gerando uma sobrecarga maior em apenas um dos lados. Por fim, a dor nos pés pode ser causada pelo fato de os colaboradores necessitarem ficar de pé para realizarem suas atividades, suportando neste ponto específico, além do peso do próprio corpo, o peso das ferramentas manuseadas e posteriormente do exoesqueleto acoplado a seus corpos. Exoesqueletos industriais passivos visam dar suporte ou descarregar a região lombar e parecem ser bem-sucedidos aqui tanto para levantamento dinâmico quanto para atividades de sustentação estática. Algumas preocupações foram levantadas em relação aos efeitos potencialmente negativos associados ao aumento da atividade muscular das pernas, altos níveis de desconforto e descondicionamento muscular (Looze, *et al.*, 2015).

Seguindo esta mesma linha de análise, o gráfico 3 apresenta o detalhamento da categoria de percepção posto de trabalho.

Gráfico 3: Critérios de percepção posto de trabalho – antes x depois



Fonte: Autor (2024)

Ao adotarmos o código de cores similar aos dois gráficos anteriores, porém considerando que o sentido de escala desta categoria é quanto maior, melhor, entende-se que a interpretação do gráfico 3 deve ser de que, se o desenho em verde, que representa o momento depois, está inscrito, ou seja, é menor que o desenho em azul, que representa o momento antes, a categoria apresenta piora em seus critérios. Em oposição, se o desenho em verde está maior que o desenho azul, indica que houve melhora nos critérios desta categoria. Por fim, se o desenho verde sobrescrever, ou seja, cobrir o desenho azul, indica que as médias se mantiveram iguais nos dois momentos, não havendo variação na pontuação.

Especificamente nesta categoria, a pontuação da maioria dos critérios se manteve igual ou levemente menor em ambos os momentos antes e depois do uso do equipamento, com exceção do critério de participo ativamente da ginastica laboral. Uma das possíveis explicações

para este fenômeno seja o fato de a proposição do equipamento em si tenha despertado nos colaboradores uma maior atenção para o cuidado com a saúde física no trabalho.

Os exoesqueletos têm o potencial de reduzir consideravelmente os fatores subjacentes associados ao desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho. O verdadeiro impacto na redução potencial da prevalência de lesões, no entanto, ainda precisa ser determinado, pois até agora desafios técnicos significativos e a falta de padrões de segurança específicos impedem a implementação em larga escala nos locais de trabalho (Looze, *et al*, 2015).

Observa-se que, de modo geral, em ambos os momentos, a maioria dos critérios recebeu pontuações mais próximas da pontuação máxima do que da mínima, o que indica que os colaboradores sentem-se bem adaptados ao ambiente organizacional nas suas áreas de trabalho, com exceção do critério “sinto-me descansado visualmente” que recebeu média de 2,0 pontos em ambos os momentos antes e depois da utilização do exoesqueleto pelos testadores, o que pode se dar pela poluição visual dos postos de trabalho, em linha com o próprio critério de escolha destes postos, considerados “poluídos” pela escassez de espaço devido a grande quantidade de cabos e ferramentas.

## 5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a potencial aplicabilidade de um modelo de exoesqueleto em postos de trabalho de uma fábrica do Polo de duas rodas. Ancorada nos conceitos de Indústria 4.0, Ergonomia e tecnologias assistivas, a pesquisa buscou não apenas explorar os benefícios ergonômicos dessa inovação, mas também avaliar seu potencial para aumentar a produtividade em ambientes fabris.

Os resultados indicaram que o uso do exoesqueleto trouxe benefícios relevantes em termos de redução de sintomas psicológicos, como menor sensação de cansaço e aumento da concentração. Estes achados sugerem que, sob a ótica do bem-estar mental, os dispositivos podem contribuir para um ambiente de trabalho mais saudável, aliviando parte do estresse cotidiano enfrentado pelos trabalhadores. No entanto, ao contrário do esperado, os testes revelaram um aumento em sintomas físicos, especialmente dores nas coxas e na cabeça, possivelmente decorrentes da fase de adaptação inicial ao uso do equipamento. Este ponto ressalta a necessidade de um período mais extenso de treinamento e familiarização por parte dos operadores para otimizar os benefícios ergonômicos do dispositivo.

A análise quantitativa e qualitativa dos dados coletados, por meio de entrevistas estruturadas e *checklists* aplicados antes e após o uso do exoesqueleto, demonstrou que o impacto positivo na percepção dos trabalhadores foi limitado pelo curto período de testes, restrito a cinco dias. A limitação temporal se deveu à falta de homologação do dispositivo pelos órgãos reguladores nacionais, o que impediu uma análise longitudinal mais robusta. Além disso, o estudo se restringiu a um grupo pequeno de trabalhadores, o que limita a generalização dos resultados para outras áreas de produção.

Apesar dessas limitações, a pesquisa contribui significativamente para a literatura sobre ergonomia aplicada à Indústria 4.0, destacando tanto o potencial quanto os desafios da implementação de exoesqueletos em ambientes industriais. As descobertas sugerem que, para maximizar os benefícios desses dispositivos, é crucial desenvolver programas de treinamento eficazes e adaptar o design dos exoesqueletos às necessidades específicas de diferentes postos de trabalho.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos de longo prazo com uma amostra maior de colaboradores, permitindo uma análise mais aprofundada da curva de adaptação dos trabalhadores e dos impactos ergonômicos sustentáveis. Além disso, a exploração de novos modelos de exoesqueletos, que considerem melhorias em termos de

conforto e usabilidade, pode ampliar os benefícios ergonômicos e produtivos, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

Em síntese, esta dissertação contribui para o campo da Engenharia de Produção ao demonstrar que, embora os exoesqueletos tenham o potencial de transformar o ambiente fabril dentro do paradigma da Indústria 4.0, sua aplicação bem-sucedida depende de uma integração cuidadosa entre tecnologia, ergonomia e gestão de pessoas. Assim, a pesquisa reforça a importância de um enfoque multidisciplinar na implementação de tecnologias assistivas, visando não apenas ganhos de produtividade, mas também o bem-estar dos trabalhadores no ambiente industrial.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As contribuições desta pesquisa são amplas, abrangendo aspectos acadêmicos, econômicos e sociais:

### **6.1 Contribuições Acadêmicas**

Este estudo oferece uma ampliação do conhecimento na área de ergonomia aplicada ao contexto da Indústria 4.0, especialmente sobre o uso de exoesqueletos industriais para aliviar a carga física de trabalhadores. A pesquisa também contribui com uma revisão teórica sobre o impacto ergonômico de novas tecnologias, servindo como base para futuras investigações e estudos de caso em ambientes industriais.

### **6.2 Contribuições Tecnológicas**

A aplicação do exoesqueleto no contexto industrial fornece referencial sobre o desenvolvimento e a adaptação de tecnologias ergonômicas para o ambiente fabril. A pesquisa também destaca os requisitos de design e funcionalidades específicas necessárias para aprimorar a usabilidade e a segurança de exoesqueletos em tarefas de trabalho repetitivo.

### **6.3 Contribuições Científicas**

Este estudo contribui para a literatura científica ao documentar os efeitos do uso de exoesqueletos nos sintomas físicos e psicológicos dos trabalhadores. Os dados e análises produzidos avançam o entendimento sobre a viabilidade e os impactos ergonômicos desses dispositivos, ajudando a estabelecer uma base científica para futuras pesquisas em ergonomia e tecnologia assistiva.

### **6.4 Contribuições Econômicas**

A utilização de exoesqueletos pode levar à redução de custos operacionais ao minimizar afastamentos por lesões e aumentar a produtividade dos trabalhadores. Este estudo fornece evidências iniciais de que o investimento em tecnologias ergonômicas pode gerar retornos econômicos, especialmente em indústrias com atividades fisicamente exigentes.

### **6.5 Contribuições Sociais**

Ao reduzir o risco de lesões e melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores, a implementação de exoesqueletos promove um ambiente de trabalho mais seguro e saudável. A pesquisa sugere benefícios sociais significativos, incluindo a potencial redução de doenças ocupacionais e o fortalecimento de uma cultura de segurança e bem-estar nas indústrias.

## REFERENCIAS

- ABERGO, A. B. DE E. **O que é Ergonomia?** Disponível em: <<https://www.abergo.org.br/o-que-%C3%A9-ergonomia>>. Acesso em: 8 abr. 2023.
- ABRAHÃO, J. *et al.* **Introdução à ergonomia: da prática à teoria.** [s.l.] Editora Blucher, 2009.
- ARAUJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, p. 11–32, jan. 2006.
- AUGUSTO, C. A. *et al.* Pesquisa Qualitativa: rigor metodológico no tratamento da teoria dos custos de transação em artigos apresentados nos congressos da Sober (2007-2011). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 745–764, 2013.
- BLANCO, A.; CATALÁN, J. M.; MARTINEZ-PASCUAL, D.; GARCIA-PEREZ, J.; GARCIA, N. (2022). The Effect of an Active Upper-Limb Exoskeleton on Metabolic Parameters and Muscle Activity During a Repetitive Industrial Task. *IEEE Access*. DOI:10.1109/ACCESS.2022.3150104. Acesso em: 8 mai. 2024.
- CAVALCANTI, M. *Transformações no setor industrial: O impacto da Indústria 4.0 no Brasil.* São Paulo: Editora TechBooks, 2021.
- COLOMBINI, D. *et al.* Exposure assessment of Upper limb repetitive movements: a consensus document. In: KARWOWSKI, W. (Ed.). **International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors**. 2. ed. vol. 3. London: Taylor and Francis, 2006. p. 52-66.
- ELPRAMA, S. A.; VANDERBORGHT, B.; JACOBS, A. An industrial exoskeleton user acceptance *framework* based on a literature review of empirical studies. **Applied ergonomics**, v. 100, p. 103615, 2022. Acesso em: 20 jul. 2024.
- FIGUEIREDO, J. *O desenvolvimento do Distrito Industrial de Manaus e a Lei de Informática.* Manaus: Editora Universitária, 2006. Acesso em: 20 jul. 2024.
- FREITAS, R. M. Pujança Econômica e Evolução Recente na Indústria de duas rodas. T&C AMAZÔNIA. Ano VII – Número 17 – 2 o Semestre de 2009. ISSN: 1678-3824. Acesso em: 15 jul. 2024.
- GEWANDSZNAJDER, F.; ALVES-MAZZOTTI, A. J. **O método nas Ciências Naturais e Sociais**. 2. ed. [s.l.: s.n.].
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. [s.l.] Atlas São Paulo, 2002. v. 4
- Gomes, M. A., & Siqueira, A. A. G. (2013). Trajectory generation of exoskeleton for lower limbs using synchronized neural oscillators. In **Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica (COBEM 2013)**. Rio de Janeiro, RJ: ABCM. Disponível em: <http://abcm.org.br/anais/cobem/2013/PDF/191.pdf>

Gonçalves, R. S., Brito, L. S. F., Moraes, L. P., Carbone, G., & Ceccarelli, M. (2020). A fairly simple mechatronic device for training human wrist motion. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(1), 1–15.

IIDA, I.; BUARQUE, L. I. A. **Ergonomia: projeto e produção**. [s.l.] Editora Blucher, 2021.  
KAISER, I. A.; BING, W. X. (2020). Projeto de membros superiores de um exoesqueleto industrial / Design of top members of an industrial exoskeleton. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 10337–10347. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-058>. Acesso em: 8 abr. 2024.

KARVOUNIARI, A. *et al.* An approach for exoskeleton integration in manufacturing lines using Virtual Reality techniques. **Procedia CIRP**, v. 78, p. 103–108, 2018. Acesso em: 20 jul. 2024.

KUBER, P.M.; RASHEDI, E. (2020). Ergonomia de produtos em exoesqueletos industriais: potenciais melhorias para eficiência e segurança da força de trabalho. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 22 (6), 729–752. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1850905>. Acesso em: 20 jul. 2024.

LIMA, G. S.; SANTIAGO, S. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. Análise da Maturidade na Indústria 4.0: Um Estudo de Caso no Polo Industrial de Manaus utilizando o sistema PIMM4.0. XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. ConBRepro. 2022. [https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/arquivos/09282022\\_120933\\_63346f29b8e32.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/arquivos/09282022_120933_63346f29b8e32.pdf). Acesso em: 20 jul. 2024.

LOOZE, Michiel P. de; BOSCH, Tim; KRAUSE, Frank; STADLER, Konrad S.; O’SULLIVAN, Leonard W. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, v. 59, n. 5, p. 671-681, 2015. DOI: 10.1080/00140139.2015.1081988. Acesso em: 15 jun. 2024.

LUGER, Tessa; SEIBT, Robert; COBB, Timothy J.; RIEGER, Monika A.; STEINHILBER, Benjamin. Influence of a passive lower-limb exoskeleton during simulated industrial work tasks on physical load, upper body posture, postural control, and discomfort. *Applied Ergonomics*, v. 80, p. 152-160, 2019. DOI: 10.1016/j.apergo.2019.05.018. Acesso em: 8 abr. 2024.

MARELLO, Enrico; SACCO, Marco. Operador 4.0: rumo à automação centrada no ser humano. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 978-985, 2017. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.198. Acesso em: 8 abr. 2024.

MELO, Eudes Lopes. A formação de redes de produção na indústria de veículos sobre duas rodas no norte brasileiro. 2010. 172p. Dissertação (Mestrado em Sociologia), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010. Acesso em: 10 abr. 2024.

MENDONÇA, B.; OLIVEIRA, F.; MADURO, M.; LIMA, O. Os desafios da implementação do conceito 4.0 em uma indústria instalada no polo industrial de Manaus. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 22, e5224, 2024. DOI:10.55905/oelv22n6-117. Acesso em: 10 abr. 2024.

OLIVEIRA, Talmo Gabriel Durante de; CALABREZ, Luigi Aleandro Fogaça. *Biomecânica: desenvolvimento de um exoesqueleto robótico visando auxiliar membros superiores*. 2018. 36 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/4830>. Acesso em: 8 abr. 2024.

QUEVEDO-SILVA, F. *et al.* Bibliometric study: Guide lines on its application. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 15, n. 2, p. 246–262, 1 jun. 2016. Acesso em: 10 fev. 2023.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161–166, 1 jan. 2016. Acesso em: 10 abr. 2024.

SCHWAB, K. *A Quarta Revolução Industrial*. São Paulo: Editora HSM, 2017. Acesso em: 10 abr. 2024.

SECOM. *Relatório Anual do Polo de Duas Rodas no Distrito Industrial de Manaus*. Secretaria de Comunicação do Governo do Amazonas, 2020. Acesso em: 10 jul. 2024.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação nas organizações**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TIJOU *et al.* *Investigation of the Impact of a Passive Shoulder Exoskeleton on the Shoulder Range of Motion: A Preliminary Study*. In V.G. Duffy (Ed.), **Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management** (Lecture Notes in Computer Science, vol. 14709). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61060-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61060-8_16)

VIDAL, M. C. Introdução à ergonomia. **Apostila do Curso de Especialização em Ergonomia Contemporânea/CESERG**. Rio de Janeiro: COPPE/GENTE/UFRJ, 2000.

## **ANEXO 1: INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS**

FOTO	POSTO	NOME:		MATRICULA:									
	ATIVIDADES REALIZADAS	TEMPO DE SERVIÇO											
		DEFINIÇÃO DO OPERADOR				●	OBSERVAÇÕES:						
		HISTÓRICO DE ACIDENTES E DOENÇAS				●	●	REALIZADO					
		CINESIOLÓGICA FUNCIONAL				●	●	EMANDAMENTO					
		EXAME DE SANGUE CPK				●	●	NÃO REALIZADO					
		APRESENTAÇÃO DO EXOESQUELETO				●	Outras:						
TREINAMENTO				●									
TRY-OUT EXOESQUELETO				●									
<b>QUANTO MENOR MELHOR</b>		<b>CHECK LIST DE COUTO</b>											
		1ª Avaliação	2ª Avaliação	3ª Avaliação	4ª Avaliação	5ª Avaliação	6ª Avaliação	7ª Avaliação	8ª Avaliação	9ª Avaliação	10ª Avaliação	11ª Avaliação	12ª Avaliação
Cansado (estado de fadiga)	8												
	7												
	6												
	5												
	4												
	3												
	2												
	1												
	0												
Concentrado	8												
	7												
	6												
	5												
	4												
	3												
	2												
	1												
	0												
Nervoso	8												
	7												
	6												
	5												
	4												
	3												
	2												
	1												
	0												
Produtividade	8												
	7												
	6												
	5												
	4												
	3												
	2												
	1												
	0												
Cansaço Visual	8												
	7												
	6												
	5												
	4												
	3												
	2												
	1												
	0												



QUANTO MAIOR MELHOR	CHECK-LIST DE PERCEPÇÃO DO POSTO DE TRABALHO												
	1ª Avaliação	2ª Avaliação	3ª Avaliação	4ª Avaliação	5ª Avaliação	6ª Avaliação	7ª Avaliação	8ª Avaliação	9ª Avaliação	10ª Avaliação	1ª Avaliação	12ª Avaliação	
1 - Sinto-me calmo no trabalho	4 3 2 1 0												
3- Tenho boa concentração no trabalho	4 3 2 1 0												
6- Sinto-me descansado visualmente	4 3 2 1 0												
7- Consigo manter minha produtividade normal	4 3 2 1 0												
9- Tenho muita disposição para o trabalho	4 3 2 1 0												
10- De maneira geral estou satisfeito com o meu trabalho	4 3 2 1 0												
11- Meu relacionamento com os colegas é bom	4 3 2 1 0												
12- Meu relacionamento com a chefia é bom	4 3 2 1 0												
13- O ambiente de trabalho é alegre	4 3 2 1 0												
14- Participo ativamente da ginástica laboral	4 3 2 1 0												