

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PRÁTICAS RELACIONADAS À INDÚSTRIA 4.0 E SUAS APLICAÇÕES NO CAMPO
DA ERGONOMIA: ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE EXOESQUELETOS**

LUCAS CORRÊA TONIOLO

SÃO CARLOS – SP

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PRÁTICAS RELACIONADAS À INDÚSTRIA 4.0 E SUAS APLICAÇÕES NO CAMPO
DA ERGONOMIA: ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE EXOESQUELETOS**

LUCAS CORRÊA TONIOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Sergio Luis da Silva

Co-orientador: Luiz Antônio Tonin

Agência Financiadora: CNPq

SÃO CARLOS – SP

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Lucas Correa Toniolo, realizada em 16/06/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Sergio Luis da Silva (UFSCar)

Prof. Dr. Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura (UFSCar)

Prof. Dr. Luiz Antonio Tonin (UFSCar)

Prof. Dr. Eduardo Ferro dos Santos (USP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

RESUMO

A 4ª revolução industrial é uma nova tendência que trouxe inovações para o mundo corporativo, porém, da mesma forma, gerou questionamentos a respeito da saúde do trabalhador, tornando plausível o estudo da relação entre tecnologias dessa era e a Ergonomia. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi identificar as práticas relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações e contribuições no campo da ergonomia e sistematizar os conhecimentos de modo a auxiliar as empresas nos processos de aquisição e implantação dessas. Com isso, realizou-se uma revisão integrativa e a partir dela propôs-se a aplicação da metodologia de estudo de múltiplos casos. Para essa segunda etapa, foram criados questionários em forma de entrevista semiestruturada e esses foram aplicados em quatro profissionais da indústria que tiveram contato e experiência com as tecnologias estudadas, no caso os exoesqueletos industriais. A partir da coleta das entrevistas os dados foram tratados e analisados culminando em três casos distintos que possibilitaram um diálogo entre a literatura e a prática. Assim, os resultados gerados nesse estudo identificaram que as práticas relacionadas a indústria 4.0, que estão vinculadas ao campo da ergonomia, não estão propriamente enquadradas na literatura. Muito disso se deve a um modismo gerencial, à falta de estudos sobre as tecnologias vendidas e a uma indústria do gerencialismo por trás desse tema. Portanto, a partir dos resultados da investigação identificou-se um perfil tecnocrata de abordagem para a implementação dos exoesqueletos industriais passivos, o que culminou na proposição de um modelo teórico de aplicação baseado na Ergonomia de Concepção pela ótica da abordagem integrativa.

Palavras chave: Indústria 4.0; Ergonomia, Fatores Humanos; Exoesqueletos

ABSTRACT

The 4th industrial revolution is a new trend that brought innovations to the corporate world, however, at the same time, it raised questions about workers' health, making the study of the relationship between technologies of that era and Ergonomics plausible. Thus, the objective of this study was to identify practices related to Industry 4.0 and its applications and contributions in the field of ergonomics and to systematize knowledge in order to assist companies in their acquisition and implementation processes. With this, an integrative review was carried out and from it the application of the multiple case study methodology was proposed. For this second stage, questionnaires were created in the form of semi-structured interviews and these were applied to four industry professionals who had contact and experience with the technologies studied, in this case, industrial exoskeletons. From the collection of interviews, data were processed and analyzed, culminating in three distinct cases that enabled a dialogue between literature and practice. Thus, the results generated in this study identified that practices related to industry 4.0, which are linked to the field of ergonomics, are not properly framed in the literature. Much of this is due to a managerial fad, the lack of studies on the technologies sold and an industry of managerialism behind this theme. Therefore, from the results of the investigation, a technocratic profile of approach was identified for the implementation of passive industrial exoskeletons, which culminated in the proposition of a theoretical model of application based on Conception Ergonomics from the perspective of the integrative approach.

Keywords: Industry 4.0; Ergonomics, Human Factors; exoskeletons

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. Diagrama Final do Referencial Teórico | 14 |
| FIGURA 2. Etapas do modelo de Estudo de Caso | 15 |
| FIGURA 3. Nove Pilares da Industria 4.0 | 20 |
| FIGURA 4. Síntese das Revoluções Industriais | 21 |
| FIGURA 5. Comparação entre COBOTS e Robôs Industriais | 24 |
| FIGURA 6. Comparação entre execução de trabalho do Exoesqueleto Passivo e Ativo | 24 |
| FIGURA 7. Bem-estar percebido e desempenho geral do sistema nos períodos antes, durante e depois da implementação de novas tecnologias | 26 |
| FIGURA 8. Etapas da Regulamentação da Criação de Máquinas | 33 |
| FIGURA 9. Redução de Risco em Máquinas | 34 |
| FIGURA 10. Processo de Validação de Maquinário | 37 |
| FIGURA 11. UR3e Robô Colaborativo de Mesa | 38 |
| FIGURA 12. UR5e Equilíbrio entre Tamanho e Força | 39 |
| FIGURA 13. UR10e Torna a Automação Colaborativa Acessível ao negócio | 40 |
| FIGURA 14. UR16e Permite acessórios e atividades mais pesadas | 40 |
| FIGURA 15. Sawyer BLACK Edition: Imagem tirada do site do Fornecedor B | 41 |
| FIGURA 16. Série CR de COBOTs com Carga Útil e Alcance de cada modelo | 42 |
| FIGURA 17. Orçamentos Exoesqueletos ExyONE | 43 |
| FIGURA 18. Especificações Técnicas dos modelos de Exoesqueletos ExyONE Shoulder e Back Lite..... | 44 |
| FIGURA 19. Especificações Técnicas do Exoesqueleto Comau – M.A.T.E | 45 |
| FIGURA 20. O processo de implementação da Cadeira sem Cadeira | 46 |
| FIGURA 21. Especificações Técnicas do exoesqueleto Noonee para Membros Inferiores (MMII) | 47 |
| FIGURA 22. Síntese das respostas do entrevistado 1 | 58 |
| FIGURA 23. Síntese das respostas do entrevistado 2 | 67 |
| FIGURA 24. Síntese das respostas do entrevistado 3 | 79 |
| FIGURA 25. Síntese das respostas do entrevistado 4 | 91 |
| FIGURA 26. Discussão por empresa - Seção C | 93 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 27. Discussão por empresa - Seção D | 95 |
| FIGURA 28. Discussão por empresa - Seção E | 99 |
| FIGURA 29. Discussão por empresa - Seção F | 101 |
| FIGURA 30. Bem-estar percebido e desempenho geral do sistema nos períodos antes, durante e depois da implementação de novas tecnologias | 103 |
| FIGURA 31. Discussão por empresa - Seção G | 104 |
| FIGURA 32. Discussão por empresa - Seção H | 107 |
| FIGURA 33. Pilares da Industria 4.0 nos Robôs Colaborativos e Exoesqueletos | 110 |
| FIGURA 34. O déficit de desenvolvimento das atividades em uma condução de projeto sem a consideração do trabalho real | 114 |
| FIGURA 35. Abordagem (atualizada) de projeto proposto pela ergonomia da atividade | 115 |
| FIGURA 36. Contribuição final do estudo – Modelo Teórico de aplicação dos exoesqueletos passivos | 117 |
| FIGURA 37. Modelo que exemplifica a visão tecnocrata para solução de problemas..... | 120 |
| FIGURA 38. Processo da primeira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 1) | 130 |
| FIGURA 39. Processo da segunda Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 2) | 132 |
| FIGURA 40. Processo da Terceira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 3) | 134 |

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1. CARACTERIZAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA | 9 |
| 1.2. OBJETIVO DA PESQUISA | 10 |
| 1.3. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA | 11 |
| 2. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 12 |
| 2.1. MÉTODOS DE PESQUISA | 12 |
| 2.1.1. Revisão Integrativa | 12 |
| 2.1.2. Estudo de Caso | 15 |
| 2.2. COLETA DE DADOS | 16 |
| 2.2.1. Entrevista semiestruturada – Roteiro de Entrevista | 16 |
| 2.2.2. Teste piloto | 17 |
| 3. RESULTADOS | 18 |
| 3.1. RESULTADOS REVISÃO INTEGRATIVA | 18 |
| 3.1.1. Primeira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 1) | 18 |
| 3.1.2. Segunda Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 2) | 25 |
| 3.1.3. Terceira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 3) | 27 |
| 3.1.4. Quarta Revisão – Revisão Bibliográfica Complementar (RBC) | 31 |
| 3.1.5. Síntese e Lacunas do Referencial Teórico | 46 |
| 3.2. RESULTADO DO ESTUDO DE MULTIPLOS CASOS | 49 |
| 3.2.1. Empresa A | 49 |
| 3.2.2. Empresa B | 68 |
| 3.2.3. Empresa C | 80 |
| 4. DISCUSSÃO | 92 |
| 4.1. DISCUSSÃO DAS SEÇÕES DO ESTUDO DE MULTIPLOS CASOS | 92 |
| 5. DISCUSSÃO FINAL E CONTRIBUIÇÕES | 108 |
| 5.1. Limitações e dificuldades encontradas ao longo da pesquisa | 123 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 125 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA

O termo “Indústria 4.0” foi criado na Alemanha, por volta de 2012, e é utilizado para se referir à 4ª revolução industrial. Essa revolução trouxe inovações tecnológicas para o campo de automação e tecnologia de informação na manufatura. A princípio, veio com o objetivo base de flexibilizar, aumentar a eficiência e rapidez dos processos de manufatura, unindo recursos físicos e digitais, como máquinas e sistemas ativos, afim de melhorar a qualidade de seus produtos e reduzir os custos (HERČKO; ŠTEFÁNIK, 2015; MARKOVÁ et al., 2019).

Para tal, se torna necessário gerar uma articulação de alto nível entre as principais tecnologias que formam o conceito. Essas tecnologias também são conhecidas como “pilares” da indústria 4.0 e eles são divididos em nove, que são: Manufatura aditiva, Realidade Aumentada, Robôs Autônomos, Big Data e Analytics, Nuvem, Segurança Cibernética, Integração de Sistemas Horizontal e Vertical, Internet Industrial das Coisas (IIoT) e Simulação. Uma melhor definição desses pilares será dada mais à frente no presente estudo (HERČKO; ŠTEFÁNIK, 2015; MARKOVÁ et al., 2019; BOSTON CONSULTING GROUP, 2022).

Juntamente às tecnologias dessa nova revolução industrial, surgiram novas abordagens da ergonomia que tem como objetivo conciliar o trabalho da máquina com o ser humano, de forma colaborativa, almejando diminuir a sobrecarga do trabalho sobre o trabalhador e, conseqüentemente, aumentar a sua produtividade. Essa sobrecarga do trabalho pode ser tanto física quanto mental e é nesse ponto que são integrados os conhecimentos da ergonomia física, cognitiva e organizacional.

Para cada um destes domínios existem novas propostas de soluções trazidas pela indústria 4.0 e da mesma forma existem pesquisas que estudam seus benefícios e malefícios dentro das empresas, tanto para o trabalhador quanto para a produtividade (KADIR; BROBERG, 2020).

Na ergonomia física estudam-se os efeitos do trabalho no sistema músculo esquelético do trabalhador, já as dimensões cognitivas e organizacional, enfatizam possibilidades de diminuir o estresse mental/emocional desses trabalhadores (KADIR; BROBERG, 2020). Neste sentido, convém ressaltar que a ergonomia integra estes domínios e compreende a sobrecarga de trabalho como uma resultante onde os três domínios exercem algum papel.

Posto isso, deve-se salientar que o presente estudo foca nas práticas (tecnologias e equipamentos) orientadas para a dimensão física da ergonomia. Dentre as novas tecnologias dessa área os COBOTS (robôs colaborativos) e os Exoesqueletos são, segundo a literatura, as mais estudadas e que apresentaram problemas relacionados à sua implementação dentro das organizações. Portanto, busca-se compreender se houve êxito na implementação dessas em meio a indústria e quais foram as barreiras para tal (se a implementação foi bem-sucedida). O presente estudo foca especificamente em uma dessas tecnologias, no caso os exoesqueletos, buscando analisar a sua aplicação dentro das empresas (a apresentação dessas tecnologias é realizada no item 3.1).

Assim surgem as questões principais, ainda não aprofundadas na literatura, que são:

Q1: Quais são as práticas relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações no campo da ergonomia física?

Q2: As práticas identificadas foram de fato bem-sucedidas em sua aplicação ou podem ser consideradas modismos gerenciais?

Q3: Quais foram as dificuldades encontradas no processo de implementação?

É por meio dessas questões que a pesquisa busca apresentar uma revisão integrativa e, através dela, levantar informações para o Estudo de Caso, onde são apresentadas aplicações em três diferentes empresas. A relevância do estudo se dá na medida em que há lacunas na literatura, principalmente por ser um tema emergente, o que é evidenciado na revisão bibliográfica sistemática inicial apresentada neste estudo. Além disso, é importante salientar que essa investigação pode dar suporte para as empresas no processo de escolha de tecnologias, na aquisição e implantação, como também na busca de indicadores que permitam melhorar as condições de trabalho.

1.2. OBJETIVO DA PESQUISA

1.2.1. Objetivo Geral

Identificar as práticas relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações e contribuições no campo da ergonomia e sistematizar os conhecimentos de modo a auxiliar as empresas nos processos

de aquisição e implantação dos exoesqueletos industriais, bem como contribuir para a reflexão a respeito do tema.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Identificar as práticas relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações e contribuições.
- Sistematizar as aplicações e contribuições do uso de Exoesqueletos no campo da ergonomia.
- A partir das análises, propor um modelo teórico que possa auxiliar as empresas nos processos de aquisição e implantação destas tecnologias em suas instalações industriais.

1.3. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A indústria 4.0 e suas inovações tecnológicas são um assunto amplamente discutido pela academia na atualidade, enquadrando diversas áreas de estudo e trazendo propostas tecnológicas para melhorar a produtividade de diversos setores da indústria. O Exoesqueleto foi uma das inovações mais citadas na revisão bibliográfica e é um exemplo de equipamento que vem com o propósito de auxiliar o operador e diminuir a sobrecarga global da atividade, principalmente a física.

Visto que a ergonomia é um campo, de certa forma, já consolidado dentro da indústria de manufatura, a chegada da Indústria 4.0 exigiu a releitura de certos conceitos aplicados à atividade do trabalho. Isso se deve à nova proposta de colaboração entre os trabalhadores e as tecnologias, o que estabelece um desafio para as equipes envolvidas na implementação de tecnologias recém-chegadas no mercado, pois para que haja harmonia entre o trabalhador e a tecnologia não se deve forçar uma adaptação do trabalhador a ela, mas sim o contrário.

Como o exoesqueleto foi destaque em meio à chegada dessas inovações vinculadas a indústria 4.0, foi vendido de forma rápida inicialmente, mas a sua implementação não era certa e pouco se sabia sobre ela. Além das questões sobre a dificuldade de implantação, contestou-se se ele realmente poderia ser considerado uma tecnologia 4.0, pois na maioria das versões do equipamento não se viam os pilares da indústria 4.0.

Por meio disso, através do presente estudo, tenta-se entender as dificuldades de implantação do exoesqueleto industrial, se ele é realmente uma tecnologia 4.0 e se a sua venda não foi na

verdade um oportunismo dos seus fornecedores, através da vinculação do exoesqueleto a uma era tecnológica promissora. Essas são lacunas ainda não respondidas plenamente pela literatura e que podem ser relevantes na delimitação de um campo de estudo ainda muito incerto e contraditório.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Geralmente os textos acadêmicos apresentam uma revisão bibliográfica após a introdução do texto, porém, no presente estudo, ela é parte dos resultados e será apresentada após esse capítulo de aspectos metodológicos.

2.1. MÉTODOS DE PESQUISA

2.1.1. Revisão Integrativa

Para esta dissertação foi realizada uma revisão integrativa que auxiliou a formular o problema de pesquisa e a identificar as tecnologias relacionadas à ergonomia física no contexto da Indústria 4.0. Segundo Souza et al. (2010), a revisão integrativa é um método criado em virtude da crescente complexidade de informações na área da saúde, emergindo como uma metodologia que proporciona a síntese de conhecimentos advindos de diversas fontes confiáveis de informação, como Revisões bibliográficas, informações de sites relevantes, não se limitando a apenas um meio de revisão, mas sim proporcionando uma integração entre revisões.

Por meio disso, pode-se trazer tal metodologia para o contexto da ergonomia e engenharia de produção, pois o presente estudo investiga múltiplos fatores na literatura, através da revisão bibliográfica acadêmica, das buscas isoladas nos sites dos fornecedores dos exoesqueletos e COBOTs, bem como sobre as normas regulamentadoras que se aplicam a essas tecnologias. Esses diferentes níveis de informação elucidam uma visão de mundo mais ampla e real sobre o mercado da indústria 4.0 e sobre a aplicação e implementação de exoesqueletos industriais.

Dessa forma, foram realizadas quatro revisões que buscaram fontes diferentes:

A primeira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 1) foi feita a partir da Base de dados do portal da CAPES – Cafe, o que proporcionou um conhecimento abrangente sobre o tema (Indústria 4.0 e Ergonomia) e incluiu artigos indexados publicados em periódicos internacionais. Neste primeiro momento identificou-se os Robôs Colaborativos e Exoesqueletos como as tecnologias vinculadas a ergonomia física, como as mais citadas na literatura. As etapas deste processo estão evidenciadas no Apêndice 1.

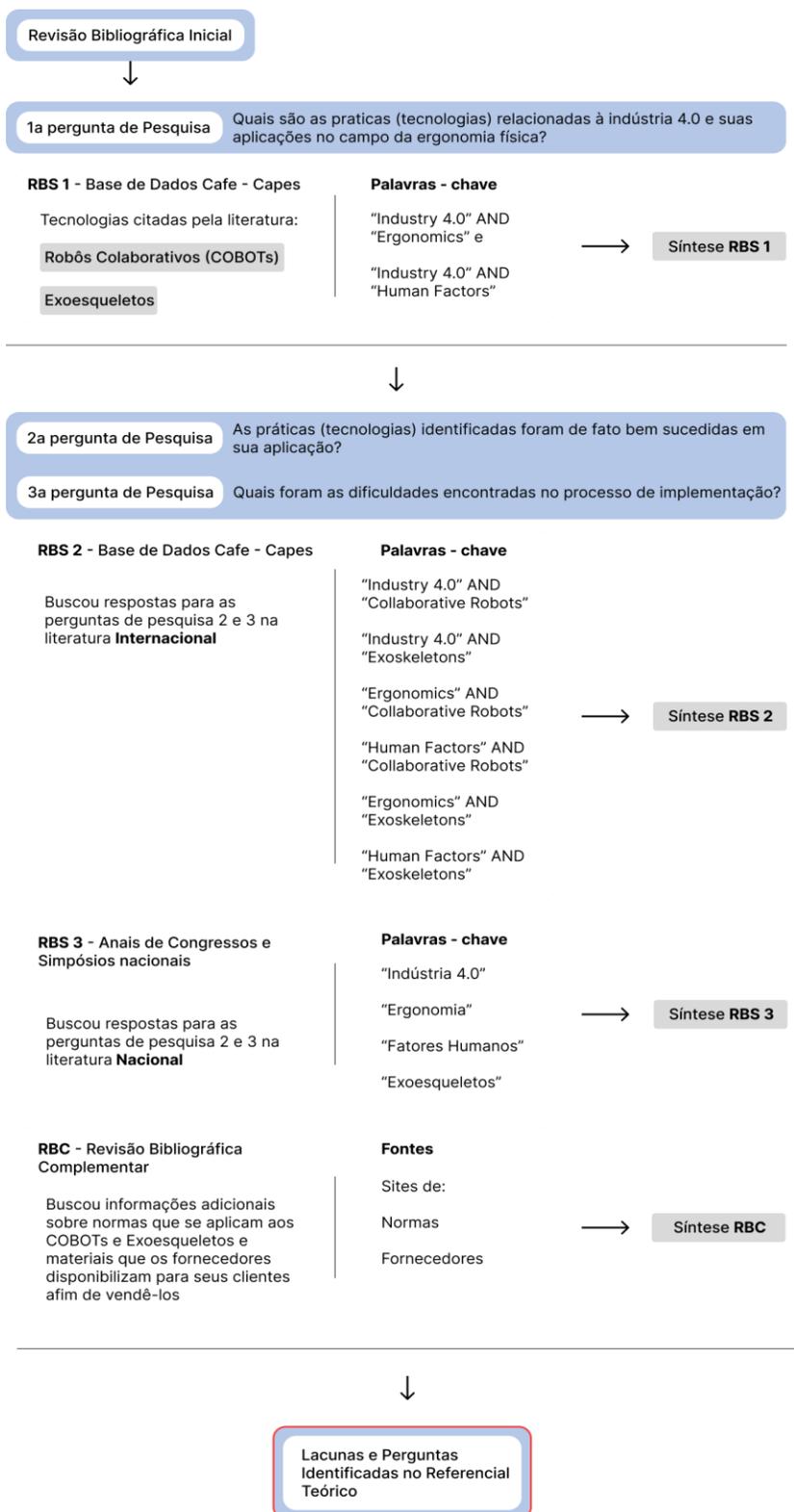
A segunda revisão bibliográfica sistemática (RBS 2) também foi realizada a partir da Base de dados do Portal da CAPES - Cafe e envolveu buscas sobre os Robôs Colaborativos e Exoesqueletos, identificados na RBS 1, e também incluiu artigos indexados publicados em periódicos internacionais. As etapas deste processo estão evidenciadas no Apêndice 2.

A terceira revisão bibliográfica sistemática (RBS 3) envolveu uma busca em anais de congressos e simpósios nacionais, buscando identificar o panorama nacional frente à Indústria 4.0 e a chegada de tecnologias. As etapas deste processo estão evidenciadas no Apêndice 3.

A quarta revisão, revisão bibliográfica complementar (RBC), faz uma análise das normas que se aplicam aos COBOTS e Exoesqueletos e também dos materiais que os fornecedores disponibilizam para seus clientes afim de vendê-los. O intuito desta busca é trazer informações sobre como as normas se aplicam em meio a chegada dessas tecnologias e também evidenciar o ponto de vista de quem vende a tecnologia, informações essas que estão fora do âmbito acadêmico. Essa quarta revisão se deu a partir de pesquisas isoladas no site dos fornecedores e em sites de normas regulamentadoras.

A figura abaixo ilustra o resultado final da revisão integrativa do presente estudo, conforme os passos do modelo de Souza et al (2010).

Figura 1. Diagrama Final do Referencial Teórico



Fonte - Autor

Baseada no modelo acima, foi feita uma síntese teórica para cada revisão e estas estão na sessão de resultados do presente estudo.

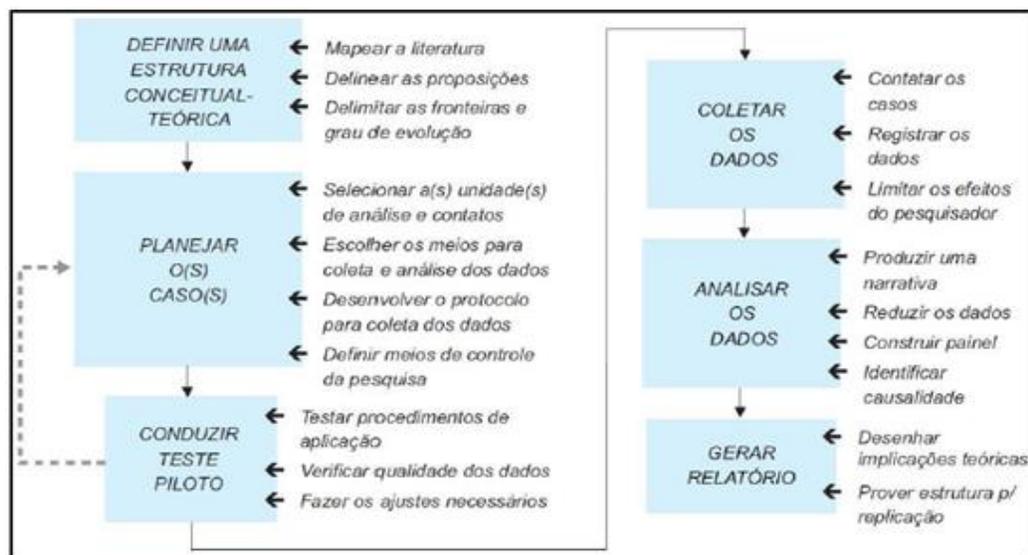
2.1.2. Estudo de Caso

Após o estabelecimento de um objetivo concreto e baseado em lacunas na literatura, tornou-se necessária a escolha de um método de pesquisa que desse suporte e atendesse as necessidades do estudo. A literatura mostra que um dos métodos mais utilizados pela engenharia de produção no Brasil é o **Estudo de Caso**, o qual proporciona uma análise profunda de um ou mais objetos de análise (casos) de contexto real, levando em conta que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se insere não estão definidas, possibilitando amplo e detalhado conhecimento sobre o fenômeno, levando a uma geração de teoria (MIGUEL et al., 2012).

Pode-se notar assim que o presente estudo se encaixa nos padrões do estudo de caso, pois trata de um objeto de estudo que traz uma problemática real e que não possui fronteiras estabelecidas entre os fenômenos (novas tecnologias) e o contexto (Empresas que compram essas tecnologias).

Com isso, como forma de tentar preencher as lacunas encontradas na revisão integrativa, optou-se por seguir o modelo de planejamento e condução de estudo de caso proposto por Forza (2002), Croom (2005) e Souza (2005). A figura 2 mostra as etapas desse modelo.

Figura 2. Etapas do modelo de Estudo de Caso



Fonte: MIGUEL (2012)

A aplicação desse método possibilitou captar como foi a implementação dos exoesqueletos em uma situação real, bem como a opinião dos funcionários que participaram desse processo. A fase do estudo de caso pode complementar as informações coletadas na revisão integrativa, proporcionando uma conversa entre o modelo teórico e o relato prático, tornando possível a averiguação da aplicabilidade das informações trazidas na revisão teórica.

Os participantes referidos acima foram identificados através dos fornecedores dessa tecnologia e por meio da revisão integrativa. Após a identificação, foi-se estabelecido o contato para saber como foram feitas as tentativas de implantação. A coleta das informações foi realizada através de roteiros de entrevista em forma de entrevista semiestruturada, o que trouxe dados chave para o presente estudo. Informações mais detalhadas sobre a coleta de dados e o teste piloto serão dadas a seguir.

2.2. COLETA DE DADOS

2.2.1. Entrevista semiestruturada – Roteiro de Entrevista

O roteiro de entrevista teve início a partir do objetivo de responder as perguntas de pesquisa propostas pelo presente estudo. Com esse foco estabelecido, foram realizados diferentes refinamentos para que o roteiro e as perguntas fossem imparciais e não influenciassem as respostas do entrevistado, limitando também os efeitos do entrevistador sobre o que seria respondido.

Em seguida foram realizadas diversas reuniões para filtrar as questões, refinar detalhes de ortografia, e torná-las mais objetivas, evitando que os pesquisadores tivessem que manipular desnecessariamente os dados para chegar a uma síntese. Ao final chegou-se a um roteiro de entrevista único que pode ser aplicado nos diversos níveis hierárquicos e de trabalhadores. Esse processo melhora a qualidade dos dados coletados e os torna mais fidedignos ao que foi dito em entrevista, prezando pela objetividade e limitando a interpretação subjetiva e tendenciosa do pesquisador durante a sistematização das informações. Uma vez finalizado, esse passou pela validação do teste piloto descrita no tópico 2.2.2, chegando ao modelo final disponível no Apêndice 4.

2.2.2. Teste piloto

Após análise e refinamento do roteiro de entrevista foi-se conduzido o teste piloto para validar os procedimentos de aplicação e dar luz a possíveis necessidades de ajustes finais. O teste passou por três etapas de entrevista, onde a primeira foi aplicada no co-orientador do presente estudo para validar o roteiro e possibilitar a aplicação em membros externos a universidade. Com ele validado, foram entrevistados dois ergonomistas que trabalham em empresas que já tiveram experiências prévias com os exoesqueletos.

As entrevistas foram realizadas através de chamada de vídeo do Google meet e os entrevistados receberam termos de consentimento livre e esclarecido com o intuito de contextualizá-los sobre a importância do estudo, pedir permissão para a gravação da entrevista, utilização de dados e eventuais constrangimentos que a aplicação do roteiro de entrevista poderia gerar. Todos os participantes toparam as condições estabelecidas em termo, porém pediram para que os dados fossem tratados como opiniões profissionais e pessoais, desvinculadas a uma representação da empresa que trabalham.

Visto que houve a permissão para gravação, os dados coletados em entrevista foram transcritos através de uma metodologia de transcrição desenvolvida por pesquisadores do presente estudo, membros do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos. A metodologia envolveu a utilização da ferramenta Google Docs. No Windows 10, foi possível configurar o computador para “ouvir” o áudio interno como se fosse o microfone e dessa forma escutar a gravação e realizar a transcrição automática, a qual foi posteriormente revisada e analisada pelo pesquisador.

Por fim, foi-se feita uma síntese das informações transcritas das entrevistas e essas foram expostas em casos. O primeiro caso foi descrito como Empresa A, o segundo como Empresa B, e o terceiro como Empresa C e todos são apresentados no tópico 3.2 do presente estudo.

3. RESULTADOS

3.1. RESULTADOS REVISÃO INTEGRATIVA

3.1.1. Primeira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 1)

Segundo apresentado no diagrama final do referencial teórico, é válido retomar a primeira pergunta de pesquisa por mérito de contextualização da primeira revisão bibliográfica sistemática (RBS1). A pergunta foi “Quais são as práticas (tecnologias) relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações no campo da ergonomia física?”. Referenciada nessa pergunta, a seguir será apresentada a síntese 1 que expõe o que a literatura mostra sobre as tecnologias mais citadas vinculadas ao campo da ergonomia física no contexto da Indústria 4.0.

Síntese 1

Desde a primeira revolução industrial, ocorrem cada vez mais mudanças e adaptações por parte de empresas, organizações e da própria rotina do ser humano. Nesse caso as exigências são evoluções tecnológicas e avanços na maioria dos setores industriais, além do aumento da competitividade, mudanças de mercados e a necessidade de novas estratégias para se adaptar a isso (MARKOVÁ et al., 2019).

Foi em meio a esse ambiente que surgiu a Indústria 4.0, que é um termo criado pelo ministro alemão de educação e pesquisa, utilizado para se referir à 4ª revolução industrial. Essa revolução trata da implementação da internet nos serviços e meios de produção atuais, visando a melhoria da comunicação entre máquinas, tempo de produção, objetivando a política de melhorias constantes e intermitentes, a virtualização de sistemas, diminuição no ciclo de vida de produtos e a utilização de sensores em máquinas (HERČKO; ŠTEFÁNIK, 2015; MARKOVÁ et al., 2019).

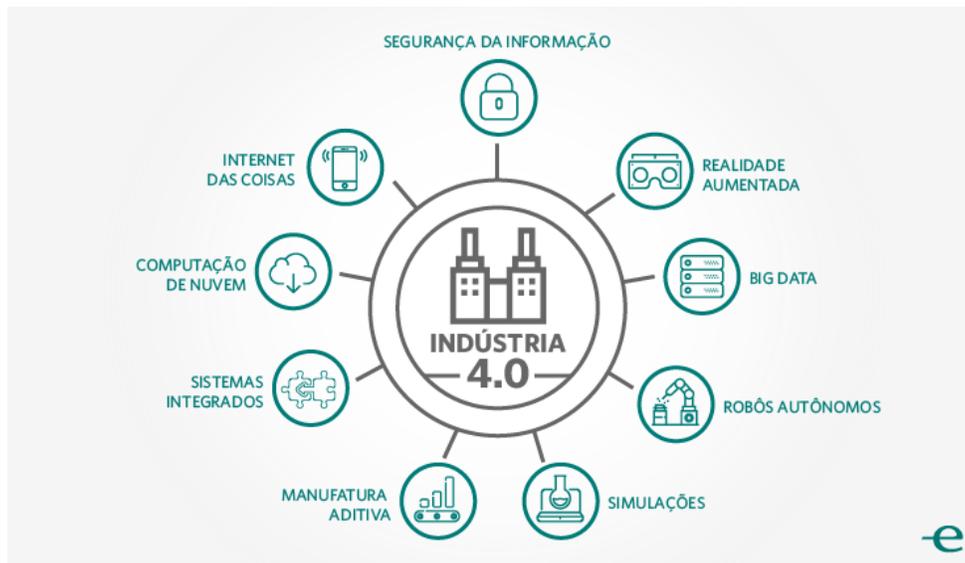
Segundo a Boston Consulting Group (BCG 2022), existem nove tecnologias que são as grandes responsáveis por dar vida a Indústria 4.0, conhecidas como tecnologias habilitadoras, ou pilares. São elas:

- Manufatura Aditiva - O exemplo clássico de manufatura aditiva é a impressão 3D. Em vez de prototipar componentes individuais, as empresas agora podem produzir pequenos lotes de produtos personalizados. As vantagens resultantes incluem a fabricação rápida de designs complexos e leves.

- Realidade aumentada – proporciona a interação do mundo digital com o mundo real e é capaz de criar tutoriais incríveis dentro da indústria 4.0 e facilitar o processo de produção e manutenção.
- Robôs Autônomos - Robôs autônomos podem interagir uns com os outros e trabalhar com segurança lado a lado com humanos. Esses robôs custarão menos e terão uma gama crescente de recursos ao longo do tempo.
- Big Data e Analytics - Sistemas inteligentes que conseguem identificar falhas em processos e são capazes de melhorar a qualidade de produção em tempo real, economizando assim a energia e melhorando a eficiência.
- A nuvem – Possibilita acessar um vasto banco de dados e suporte em qualquer local do planeta, permitindo a integração de plantas e sistemas de locais distintos, assim o controle e o suporte podem ser feitos de forma global.
- Segurança Cibernética - Um sistema de comunicação totalmente seguro e melhor evoluído garantindo a proteção de sistemas industriais críticos e linhas de fabricação contra ameaças de segurança cibernética, que aumentaram drasticamente na indústria 4.0.
- Integração de Sistemas Horizontal e Vertical – Sistemas como Enterprise Resource Planning (ERP), Manufacturing Execution Systems (MES), Customer Relationship Management (CRM), entre outros integram toda a cadeia de valor produtiva por meio da análise e tomada de decisões de dados.
- A Internet Industrial das Coisas (IIoT) - Permite conectividade em tempo real entre dispositivos, o que possibilita melhor acesso a dados tornando processos mais produtivos.
- Simulação - A simulação virtual – Digital Twin - é necessária para evitar gastos sem necessidades, possibilitando que produtos e processos sejam testados na sua etapa de concepção ainda em ambiente virtual, ou seja, utiliza-se um modelo virtual 3D para simular produtos e processos antes de sua execução real.

A figura abaixo ilustra esses nove pilares da indústria 4.0.

Figura 3. Nove Pilares da Indústria 4.0



Fonte: Imagem extraída do site da empresa LWT Sistemas.

A articulação e integração de sistemas em alto nível via conectividade é o que dá vida à indústria 4.0 e é essa característica que a diferencia das posteriores revoluções industriais. Sem a integração de sistemas as empresas ainda são consideradas 3.0, pois não tornam aplicáveis a maioria dos demais pilares citados acima. Esse raciocínio faz sentido quando entendemos as revoluções industriais anteriores, como apresentado a seguir (COELHO, 2016).

A primeira revolução industrial foi a era da mecanização do sistema produtivo, a segunda foi a era da produção em massa, das linhas de produção com utilização da eletricidade, a terceira foi a era da automação e implementação de computadores e a quarta é a era dos sistemas físicos cibernéticos. Uma melhor visualização dessas eras pode ser vista na figura 4 (MARKOVÁ et al., 2019; MIKULIĆ; ŠTEFANIĆ, 2018).

Figura 4. Síntese das Revoluções Industriais



Fonte: ROSER (2015)

Kagermann (2013) acreditava que a indústria 4.0 iria mudar substancialmente o conteúdo de trabalho, processos, organização e ambientes nas fábricas do futuro. Como consequência disso haveria um aumento na carga de trabalho para todos os membros corporativos em termos de resolução de problemas, abstração, complexidade de gestão e sobrecargas físicas. Assim, com as mudanças propostas pela Indústria 4.0, surgiram também as preocupações com os trabalhadores e como esses iriam se adaptar a essas mudanças drásticas.

E foi em meio a essas preocupações com a saúde do trabalhador e o meio ambiente que, desde 2017, a academia começou a estudar a ainda não intitulada indústria 5.0, que viria como uma revolução industrial guiada por valores, diferentemente da indústria 4.0 que é guiada por tecnologias.

A indústria 5.0 seria lançada posteriormente em 2021, pela Comissão Europeia, depois de discussões com empresas de pesquisa em tecnologia e agências financiadoras. A proposta dessa era não é dar um fim à indústria 4.0, mas sim agregar valores a ela em questões sociais, ambientais e ir além de trabalhos e crescimento de empresas, focando no bem-estar do trabalhador (XU et al., 2021; COMISSÃO EUROPEIA, 2021; KAASINE et al., 2022).

Segundo Xu et al. (2021), a Comissão Europeia (2021) e Kaasinen et al. (2022), essa proposta é focada em três pilares principais que são: O Design centrado no humano, a Resiliência e a Sustentabilidade.

O Design centrado no humano viria com o intuito de empoderar talentos da indústria e a capacidade de trabalho humana, objetivando tornar o trabalhador protagonista das tarefas e

atividades alocadas em colaboração com tecnologias, de forma que o trabalhador não se sentisse uma pessoa que monitora máquinas. Além disso, esse pilar ressalta a importância da capacidade cognitiva humana, onde a máquina serviria como uma base para a tomada de decisões, mas que elas não substituem a criatividade humana.

A questão da resiliência foca na capacidade de adaptabilidade da indústria, estimulando empresas e seus respectivos integrantes, a estarem sempre preparados para as constantes mudanças e novidades que surgem em meio a indústria 4.0.

E por último está a questão da sustentabilidade, que é relacionada ao incentivo das empresas a investirem em tecnologias que foquem na renovação e reutilização de recursos naturais.

Esses três valores centrais são a base da indústria 5.0 e se tornam possíveis através das 6 tecnologias habilitadoras identificadas também por Xu et al. (2021), a Comissão Europeia (2021) e Kaasinen et al. (2022), que são:

- Tecnologias de interação humano-máquina individualizadas que interconectam e combinam os pontos fortes de humanos e máquinas.
- Tecnologias de inspiração biológica e materiais inteligentes
- Gêmeos Digitais (Digital Twins) e simulação para modelar sistemas inteiros.
- Tecnologias de transmissão, armazenamento e análise de dados que são capazes de lidar com dados e interoperabilidade do sistema.
- Inteligência Artificial para detectar, por exemplo, causalidades em sistemas dinâmicos, levando a inteligência acionável.
- Tecnologias para eficiência energética, energias renováveis, armazenamento e autonomia

Novamente, devemos ressaltar que a Indústria 5.0 não veio para substituir a indústria 4.0, mas sim como uma proposta de complementar e estudar questões que emergiram de estudos sobre a cooperação entre homem e máquina, sobre como as tecnologias 4.0 afetam o meio ambiente e como as empresas estão respondendo às demandas de adaptabilidade com a chegada de novas tecnologias. Por isso, a Indústria 5.0 foca mais na questão de uma reestruturação organizacional e sistêmica, diferentemente da 4.0 que foca nas tecnologias em si e como elas podem ser implementadas em casos mais isolados.

As questões levantadas pela indústria 5.0 são relevantes para tentar responder alguns paradigmas que serão citados a seguir, mas sugere-se que estudos futuros sejam feitos sobre esse tema específico. Por exemplo, com a ascensão dos novos meios de produção da indústria 4.0, vieram tecnologias colaborativas guiadas por sistemas sem fio que tentam trabalhar em cooperação com os seres humanos, presando pela segurança do trabalhador, seu bem estar e a melhoria da interação física do homem com seu ambiente de trabalho (fatores ergonômicos) (KAGERMANN, 2013; ESBEN H. et al., 2016).

A literatura, assim como a Associação Internacional de Ergonomia e Fatores Humanos, divide esses fatores ergonômicos em três tipos, que são: Fatores ergonômicos Físicos, Cognitivos e Organizacionais e em cada uma dessas áreas existem novas tecnologias, trazidas pela Indústria 4.0, que são testadas para tentar provar sua eficácia, tanto na produtividade quanto na saúde do trabalhador (KADIR; BROBERG, 2020).

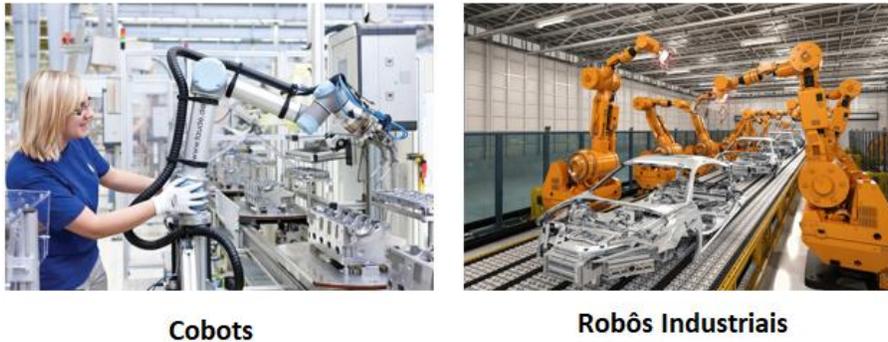
Neste contexto, enfocando-se o domínio da ergonomia física, Kadir e Broberg (2020) demonstram que dentre as diversas tecnologias sendo estudadas nesse nicho, existem duas delas que são o maior foco de pesquisas, que são os robôs colaborativos (COBOTS) e os exoesqueletos (KADIR; BROBERG, 2020).

Robôs colaborativos (COBOTS)

Quando se fala em COBOTs trata-se de uma tentativa de conciliar o trabalho do ser humano com a máquina de forma segura, pois ele vem com o propósito de servir como uma ferramenta para o trabalhador e ao mesmo tempo aumentar sua produtividade, sem gerar estresse físico ou mental (ESBEN H. et al., 2016).

A principal diferença entre COBOTS e robôs industriais convencionais é que os COBOTS são supostamente mais seguros e permitem a interação direta com seres humanos, cooperando com suas tarefas, já os robôs industriais convencionais necessitam de segregação de espaço e por questões de segurança não podem compartilhar o espaço com seres humanos. A figura 5 ilustra esta diferença.

Figura 5. Comparação entre COBOTS e Robôs Industriais



Fonte: Imagens extraídas do Google.

Exoesqueletos

Já os exoesqueletos, que são trajes que contemplam uma estrutura mecânica (composta ou não por atuadores), surgem como uma tentativa de reduzir as alterações musculoesqueléticas geradas pelo trabalho repetitivo e posições ergonomicamente desfavoráveis ao trabalhador (BANCES et al., 2020).

Segundo De Looze et al. (2015) e Wesslén (2018), existem dois tipos de exoesqueletos: aqueles que são passivos e não utilizam nenhum tipo de atuador para fazer movimentos, utilizando-se apenas dos materiais para sustentar uma postura, ou aqueles que são ativos e sustentam posturas com a força dos atuadores.

Figura 6. Comparação entre execução de trabalho do Exoesqueleto Passivo e Ativo



Fonte: Imagens extraídas do site do Estadão.

Ambas dessas tecnologias são supostas contribuições da indústria 4.0 para as empresas e suas características ergonômicas ainda estão sendo estudadas e testadas. Visto que são tecnologias novas e ainda em estudo, orientações devem ser passadas, deixando claro que sua eficácia, implementação, bem como seu enquadramento como uma tecnologia 4.0, ainda são controversas.

3.1.2.Segunda Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 2

Nessa segunda Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 2) buscou-se responder as perguntas de pesquisa que emergiram a partir da RBS 1. As perguntas foram: “As práticas identificadas foram de fato bem-sucedidas em sua aplicação? Quais foram as dificuldades encontradas no processo de implementação?”. Com isso, os dados coletados através da busca na base de dados da CAPES – Café almejam responde-las com referência na literatura internacional. A síntese 2 a seguir expõe os achados dessa investigação.

Síntese 2

Essas evoluções tecnológicas, que tinham o intuito de trazer melhorias ergonômicas, trouxeram problemas de implementação, dificuldades de adaptação dos trabalhadores com a nova tecnologia, a falta de motivação por não haver um padrão do processo de implementação, advindo da falta de estudos da nova tecnologia, e o surgimento de um ambiente de trabalho pesado, originando uma constante preocupação dos trabalhadores com seus empregos (KADIR; BROBERG, 2020).

Por meio disso surgem questões de se essas tecnologias realmente colaboram para melhorar fatores ergonômicos. Segundo o estudo de Kadir & Broberg (2020), testes de implementação dessas tecnologias foram realizados em diversas empresas de diversos tamanhos e tipos de produção, e essa implementação foi dividida nas fases “Antes”, “Durante” e “Depois”. Como resultado, mostrou-se difícil a implementação nos períodos “Antes” e “Durante”, pois não se sabia muito sobre a tecnologia (tanto por parte da empresa quanto dos funcionários), e o protocolo de implementação ainda não estava claro e definido, causando muita incerteza dentro das empresas.

Isso deu origem a um ambiente de trabalho inóspito e que se mostrou pior do que o período anterior à tecnologia. Após certo tempo de estudos e o aumento da clareza sobre essas, os fatores benéficos vieram à tona e o ambiente de trabalho recuperou seu bem-estar, além de ter mostrado que as novas tecnologias estavam sendo eficazes no caráter físico (Figura 7).

Figura 7. Bem-estar percebido e desempenho geral do sistema nos períodos antes, durante e depois da implementação de novas tecnologias



Uma visão geral simples de como o bem-estar percebido e o desempenho geral do sistema mudam antes, durante e depois da implementação de novas tecnologias digitais

Fonte: KADIR & BROBERG (2020)

Porém, embora no período “Depois” tenham sido notadas melhorias no processo produtivo e no bem-estar dos operadores, não se deve generalizar tal conclusão, pois outros fatores como a duração do tempo de implementação, custos, o índice de tensão física dos trabalhadores, o processo de manufatura mais adequado para a implementação da tecnologia e o modelo de tecnologia mais adequado para aquele processo devem ser estudados, afim de comparar os benefícios e malefícios dessas tecnologias.

É isso que o estudo de Pearce et al. (2018) mostrou, onde tentou-se estabelecer métricas que avaliam o nível de tensão física no trabalhador, tempo de execução de tarefa, e diversas propostas de alocações de tarefas entre humanos e COBOTs afim de facilitar a visualização do melhor modelo de implementação, conforme o processo escolhido. Essas métricas auxiliaram os pesquisadores a identificar os benefícios e malefícios das tecnologias avaliadas por casos isolados.

Os resultados mostram que os processos com tarefas paralelas entre COBOTs e humanos melhoram os índices de tensão física que exigem mais das mãos e punhos do operador (tarefas mais delicadas) e melhoram o tempo de produção, não gerando tempo ocioso de maquinário. Porém em processos mais brutos, que não possibilitam o trabalho da máquina e do trabalhador em paralelo, se mostraram ineficazes tanto no âmbito físico quanto de tempo de produção, pois gerou-

se ociosidade de maquinário e diminuição do tempo de produção, o que atrapalha a percepção de produtividade do operador (PEARCE et al., 2018).

Da mesma forma, o estudo de Dahmen & Constantinescu (2020) aponta uma necessidade de implementação muito parecida a do estudo mencionado acima, porém para Exoesqueletos. Nessa pesquisa o autor propõe um modelo de implementação baseado em três perguntas, que se levadas em conta podem dar luz a dúvidas presentes na literatura.

As perguntas são: “Onde e qual modelo da tecnologia deve ser implementada?” Essa primeira pergunta guia o responsável da empresa a investigar e comparar os ambientes de trabalho e as diversas opções de exoesqueletos disponíveis no mercado. “Que tipo de benefício ela traz?” Isso leva o responsável a identificar e pautar os impactos e potenciais da tecnologia. E por último “Quando integrar a tecnologia?” Isso obriga o responsável a desenvolver um processo de integração e métodos de otimização da tecnologia (DAHMEN; CONSTANTINESCU, 2020).

As três perguntas elencadas levam em conta os fatores ergonômicos, fatores de tempo de produção, diferentes processos de produção, tecnologias e a aceitação dos usuários em relação a essas tecnologias. Pode-se notar no estudo que as vantagens ergonômicas são relevantes quando isoladas em casos individuais, porém quando levadas a um nível experimental maior, a aceitação dos operadores frente a essa nova tecnologia é pequena.

Dessa forma, modelos de uso híbrido dos exoesqueletos surgiram como uma opção para certos processos de produção, onde o operador recebe instruções para colocar e retirar o Exoesqueleto baseado no tipo de atividade que está realizando e o esforço físico que ela exige (DAHMEN; CONSTANTINESCU, 2020).

Como forma de fechar o raciocínio sobre os estudos acima, pode-se dizer então que as propostas de implementação existentes servem como situações de referência para estudos futuros, traçando eventuais caminhos que as empresas possam seguir para alcançar o êxito de implementação dessas tecnologias e dar luz a uma lacuna na literatura.

3.1.3. Terceira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 3)

Na terceira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 3) buscou-se responder as mesmas perguntas de pesquisa que emergiram a partir da RBS 1, que foram: “As práticas identificadas foram de fato bem-sucedidas em sua aplicação? Quais foram as dificuldades encontradas no processo de implementação?”. Porém, no caso dessa revisão a coleta de dados foi feita através de

anais de congressos e simpósios nacionais, buscando responde-las com referência na literatura nacional, afim de trazer um panorama local sobre o tema. A síntese 3 a seguir expõe os achados dessa busca.

Síntese 3

Quando se trata da implementação dessas tecnologias no mercado, pode-se dizer que o fator ambiental influencia no ritmo de aceitação dessa nova era. Segundo a CNI (2017), assim como evidenciou-se em outras nações, o alastro de tecnologias vinculadas a indústria 4.0 não iria afetar os setores da mesma forma e muito menos no mesmo ritmo. Isso pode ser observado no Brasil, visto que a maioria das empresas brasileiras estão transitando entre a segunda e terceira revolução industrial (entre o uso de linhas de produção e automação de processos), o que comprova que o território brasileiro necessita de um impulsionamento tecnológico (FIRJAN, 2016; CRUZ et al., 2017; CNI, 2022).

Como forma de estímulo, a chegada dessa nova era tecnológica tem suma importância no combate ao enfraquecimento da indústria brasileira, visto que quando comparado aos principais países competidores, a sua produtividade veio decrescendo por mais de dez anos até 2014. Baseado em informações trazidas pela CNI (2018) e CNI (2022) a indústria 4.0 trouxe impactos relevantes na produção, como a otimização na utilização de recursos, a adaptação e contemporização das linhas de produção e produtos e vem exigindo uma mudança na gestão empresarial, de forma mais relevante nas áreas de TI e manufatura.

Esse novo mercado exige das empresas a renovação de seus modelos de negócio de forma que possam se enquadrar a esse sistema. A renovação desses modelos de negócio está diretamente vinculada às tecnologias habilitadores (IoT, Sensores e Atuadores, Manufatura Aditiva e Híbrida, Big Data, Computação em nuvem, Sistemas de Conexão Máquina-Máquina, Infraestrutura de comunicação, Inteligência Artificial, Sistemas de Simulação e a Robótica avançada) que possibilitam que todo esse processo aconteça. Embora 91% das empresas brasileiras ainda não estejam conectadas, para a ABIMAQ (2018), CNI (2018) e CNI (2022) a implementação dessas tecnologias é essencial na construção desse ambiente 4.0 e agrega valor ao Brasil em termos de mercado Global.

Contudo, supõe-se que esse processo de transição tecnológica imposto pela indústria 4.0 no Brasil foi acelerado pela pandemia, onde empresas e serviços foram obrigados a adiantar processos de evolução tecnológica que, se fossem seguir o curso normal, levariam anos para acontecer. Por conta disso, algumas tecnologias habilitadoras teriam sido introduzidas em meio a esse mercado, o que agregaria valor e traria resiliência à indústria Brasileira, aumentando a capacidade de adaptação a tendências do mercado, que, atualmente, é cada vez mais volátil por conta das constates inovações tecnológicas.

Porém, esse suposto impulsionamento tecnológico proporcionado pela pandemia ainda não seria suficiente para agregar valor significativo à indústria brasileira, e por isso programas de incentivo governamental devem ser criados para tornar possível uma aproximação entre o Brasil e Indústria 4.0.

Segundo a ABDI (2017), Pereira et al. (2018) e CNI (2022) existem cinco eixos a serem seguidos baseado em uma pesquisa realizada com institutos alemães de pesquisa, e são eles:

1. Criação de um programa brasileiro de manufatura avançada: A partir de uma definição da estrutura de governança, envolvendo representantes de diversos setores, deve-se buscar um direcionamento, definindo uma agenda de discussões. Para isso, um processo de implantação pode ser estabelecido, seguindo boas experiências de outros países, como a Alemanha.
2. Buscar acordo bilateral com a Alemanha entre o programa de manufatura avançada criado e o alemão, Industrie 4.0: Buscar o engajamento de empresas e órgãos de apoio alemães no Brasil, estabelecendo parcerias e bases de investimentos.
3. Criação de uma rede de *testbeds* de manufatura avançada no Brasil: *Testbeds* são ambientes designados para teste e demonstração de novas tecnologias, que buscam simular a realidade de ambientes de produção. Este terceiro eixo, visa a definição de uma estratégia para impulsionar a infraestrutura existente.
4. Alinhamento e criação de linhas de fomento: Buscar alocação de recursos nas Fundações de Apoio a Pesquisa estaduais e federais, bem como a definição de linhas específicas para a construção de *testbeds* e programas específicos para atender lacunas de financiamento.
5. Engajamento de pequenas e médias empresas (PME): Através da construção de programas, disseminar e capacitar conceitos da Indústria 4.0. Propor iniciativas para facilitar o uso de *testbeds* por PME, bem como realizar ações para fomentar o interesse dessas empresas.

Esses eixos servem como guia para a formação de uma base que consiga sustentar essa nova era industrial no país, porém as indústrias brasileiras sabem muito pouco sobre a importância das tecnologias 4.0 e acabam prolongando o uso de métodos tradicionais para aumentar a sua produtividade.

Esse fator potencializa o uso de ferramentas da indústria 4.0 para otimização de alguns processos isolados, mas não estimula as empresas a promover uma mudança enraizada da própria organização, muito devido ao alto valor de investimento e ao desestímulo do mercado local.

Porém, segundo o autor, essas tecnologias trazem retornos positivos à empresa, mesmo sendo a longo prazo, quando enquadradas em um ecossistema industrial fortalecido (SCHWAB, 2016; CNI, 2016).

Essas são algumas contribuições da literatura nacional para que portas sejam abertas a tecnologias 4.0 no Brasil. Porém, enquanto isso não acontece observa-se que, por conta dessa falta de conhecimento sobre a indústria 4.0, houve uma dificuldade do mercado em definir o que seria uma tecnologia 4.0 e, através disso, muitos fornecedores se aproveitaram dessa oportunidade para vincularem seus produtos a essa era tão comentada.

Isso pode ser visto no estudo de caso feito por Paribello et al. (2020) com exoesqueletos industriais para membros inferiores. Essa tecnologia lhes foi apresentada como sendo 4.0, e por isso sentiram a necessidade de estudá-la e levantaram as dificuldades de sua implementação em uma linha de montagem automotiva. Nota-se, no estudo, que diferentes profissionais, tais como a Chefia de departamento do meio ambiente, saúde e segurança do trabalho, ergonomistas, técnicos de enfermagem do trabalho, médicos do trabalho e analistas de processo, se mobilizaram para levantar as dificuldades de utilização desse equipamento.

Por fim, a conclusão do estudo mostra que, embora existam benefícios vinculados ao uso dos exoesqueletos em outros tipos de atividade, não houve tal benefício para a utilização em linha de montagem automotiva, pois segundo o relato dos envolvidos, a utilização de um banco com rodas era mais interessante e viável do que o investimento em exoesqueletos (PARIBELLO et al. 2020).

Por isso, sugere-se para estudos futuros, definir diretrizes que tornem padronizadas as características que vinculam uma tecnologia à indústria 4.0, além da necessidade de mais estudos

a respeito das melhores práticas para a utilização de exoesqueletos industriais, afim de evitar que tecnologias sejam vinculadas a essa era tecnológica, mas não entregarem o que prometem.

Portanto, com a análise do panorama nacional frente à chegada da Indústria 4.0, pode-se dizer que o Brasil ainda está longe de se enquadrar como uma referência industrial, visto que esse mercado tecnológico decresceu por dez anos até 2014 e que ainda se transita entre a segunda e terceira revolução industrial. Contudo, com o investimento em estudos nessa área tecnológica e o incentivo governamental, o país começa a caminhar em direção a uma mudança de mercado relevante e não descarta tecnologias, que quando enquadradas em um contexto propício, se tornam eficazes (RAPOSO et al., 2018; CNI, 2022).

3.1.4. Quarta Revisão – Revisão Bibliográfica Complementar (RBC)

Normas que se aplicam a COBOTS

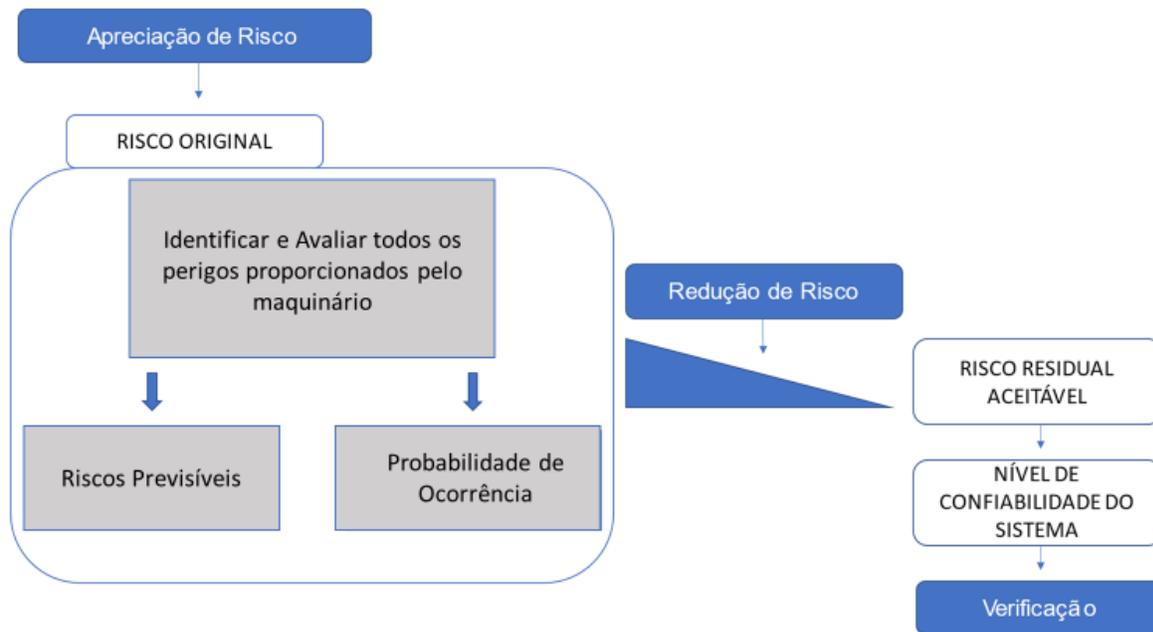
COBOTS

Todas as medidas necessárias na criação e construção de máquinas são derivadas de disposições legais. Para máquinas comercializadas na comunidade Europeia aplica-se a diretiva de máquinas 2006/42/EC e em ambientes industriais em território brasileiro aplica-se a NR-12. Ambas descrevem requisitos de design e construção de máquinas seguras.

NR-12 - Esta Norma Regulamentadora - NR e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto das demais NRs aprovadas pela Portaria MTb n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais ou nas normas internacionais aplicáveis e, na ausência ou omissão destas, opcionalmente, nas normas Europeias tipo “C” harmonizadas.

Uma vez provado que sua máquina segue os requisitos, torna-se possível adicionar a marcação CE, caso venha a ser transportada à algum país europeu, ou região local. Toda essa regulamentação passa por um processo de três etapas, que são: Avaliação de risco, Redução de risco e a Verificação. A figura 8 exemplifica esse processo.

Figura 8. Etapas da Regulamentação da Criação de Máquinas

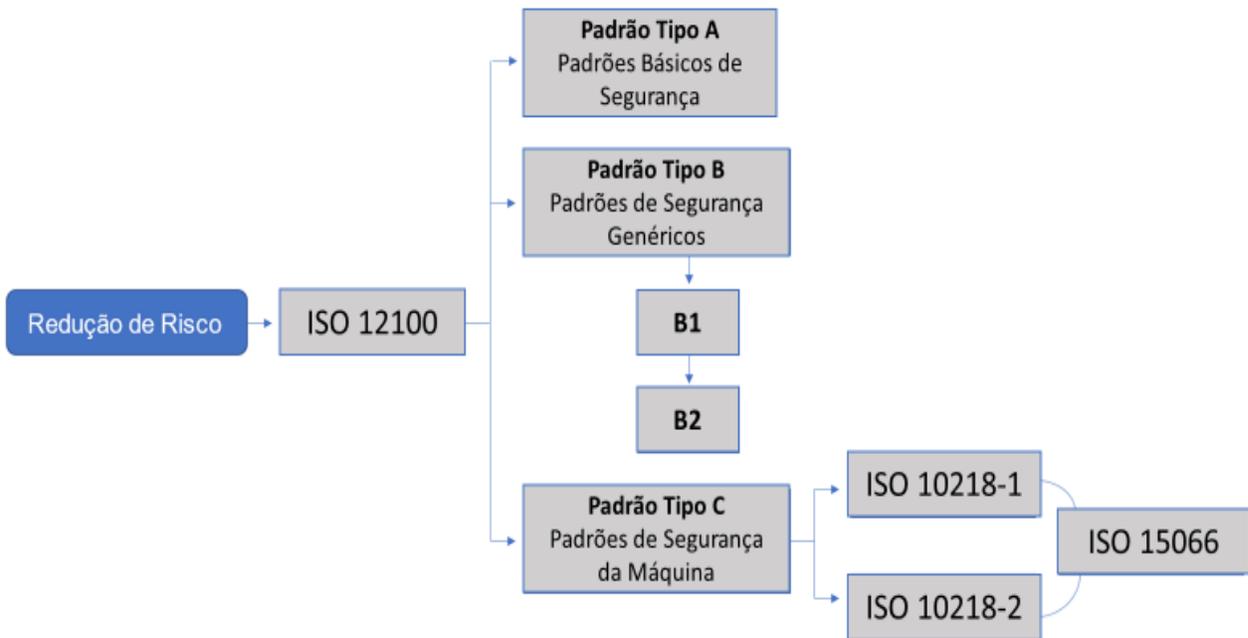


Fonte: Autor

Apreciação de risco: Identificar e avaliar todos os perigos proporcionados pelo maquinário. Primeiramente identificar sistematicamente todos os riscos previsíveis que podem ser identificados na máquina (Corte, esmagamento de membros, etc), considerando também todas as fases do ciclo de vida de uma máquina, como comissionamento, manutenção e modos de operação (automático ou modo ajuste). Em seguida avalia-se o risco de acordo com a probabilidade da ocorrência e a gravidade dos danos potenciais. O resultado dessa análise nos aponta o risco original relacionado ao perigo identificado. Com isso, deve-se reduzir esse risco original ao risco residual aceitável por meio de medidas adequadas e isso será feito na parte da redução de riscos.

Redução de riscos: para reduzir o risco, deve-se seguir a metodologia ISO 12100. O Esquema da Figura 9 exemplifica esse processo:

Figura 9. Redução de Risco em Máquinas



Fonte: Autor

ISO 12100 – O objetivo principal desta Norma é fornecer aos designers uma estrutura geral e orientação para decisões durante o desenvolvimento de máquinas para capacitá-los a projetar máquinas que sejam seguras para o uso pretendido. Ele também fornece uma estratégia para desenvolvedores de padrões e ajudará na preparação de padrões de tipo B e tipo C consistentes e apropriados. O conceito de segurança de máquinas considera a capacidade de uma máquina de realizar suas funções pretendidas durante seu ciclo de vida, onde o risco foi adequadamente reduzido.

Este Padrão Internacional é a base para um conjunto de padrões que possui a seguinte estrutura:

- Padrões tipo A (padrões básicos de segurança), fornecendo conceitos básicos, princípios de projeto e características gerais que podem ser aplicados a máquinas
- Padrões tipo B (padrões de segurança genéricos) tratam da segurança ou um tipo de salvaguarda que pode ser usado em uma ampla gama de máquinas:
 - Padrões tipo B1 abordam características específicas de segurança (por exemplo, distâncias de segurança, temperatura da superfície, ruído)

- Padrões tipo B2 sobre salvaguardas (controles bi-manuais, dispositivos de intertravamento, sensíveis à pressão dispositivos, protetores)
- Padrões tipo C (padrões de segurança da máquina) que tratam dos requisitos de segurança detalhados para uma determinada máquina ou grupo de máquinas. Dentro desse padrão se aplicam as ISO 10218-1 e ISO 10218-2 e, como complemento a elas, a ISO 15066

ISO 10218-1 Robôs – Fornece orientação para a garantia de segurança no projeto e construção do robô. Uma vez que a segurança na aplicação de robôs industriais é influenciada pelo projeto e aplicação da integração do sistema de robô particular

ISO 10218-2 Sistemas dos Robôs e Integração - Fornece diretrizes para a proteção do pessoal durante a integração, instalação, teste funcional, programação, operação, manutenção e reparo do robô.

ISO 15066: 2016 Operação de Robôs Colaborativos - Esta Especificação Técnica fornece orientação para a operação do Robô Colaborativo, que é um sistema que integra o Robô e o trabalhador no mesmo espaço de trabalho. Em tais operações, a integridade do sistema de controle relacionado à segurança é de grande importância, particularmente quando os parâmetros do processo, como velocidade e força, estão sendo controlados. Uma avaliação de risco abrangente é necessária para avaliar não apenas o sistema do Robô em si, mas também o ambiente no qual ele é colocado, ou seja, o local de trabalho. Ao implementar aplicativos em que pessoas e sistemas de Robô colaboram, isso pode resultar também em vantagens ergonômicas, como melhorias na postura do trabalhador.

Com a redução, do Risco Original para o Risco Residual Aceitável, em seguida é recomendada a orientação de funcionários a usar EPIs. Adicionalmente, em função da avaliação dos riscos, deve-se determinar o nível de confiabilidade do Sistema. Nesse momento pode-se utilizar duas normas distintas, que são a ISO 13849-1 e a IEC 62061.

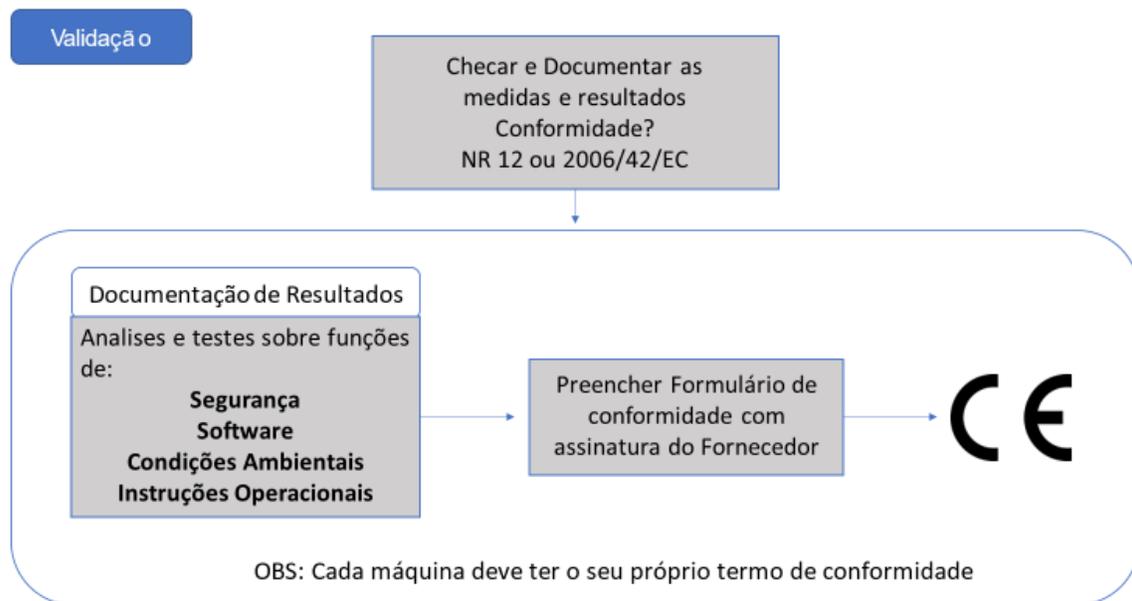
ISO 13849-1 – Define níveis de performance PL (Performance Levels), seguidos pela graduação de A a E.

IEC 62061 – Define Níveis de Integridade de Segurança (Safety Integrity Level – SIL), que seguem graduações de Risco Baixo (SIL 1), Risco Médio (SIL 2) e Risco Alto (SIL 3).

Dessa forma, através da rotulação da máquina conforme esses níveis de segurança, pode-se determinar os componentes de segurança a serem adicionados. O próximo, e último passo, é a verificação.

Verificação: Essa etapa visa checar e documentar as medidas e resultados, de forma a declarar conformidade com a NR-12 ou então a diretiva 2006/42/EC. Uma etapa desse procedimento chama-se validação e busca providenciar provas de que todos os requisitos de segurança da máquina foram atendidos. Para tal, pode-se contar com a ajuda de análises e testes sobre funções de segurança, software, condições ambientais e instruções operacionais, documentando de forma clara todos os resultados antes da validação. Por fim deve-se preencher o formulário de conformidade e esse deve ser assinado pelo fornecedor, de forma a se responsabilizar por eventuais problemas. Cada máquina deve ter o seu próprio termo de conformidade e com ele, se pode rotular a máquina com as siglas CE, que atestam confiabilidade de produto.

Figura 10. Processo de Validação de Maquinário



Fonte: Autor

Os sistemas robóticos que obedeçam às prescrições das normas ABNT ISO 10218-1, ABNT ISO 10218-2, da ISO/TS 15066 e demais normas técnicas oficiais ou, na ausência ou

omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis, estão em conformidade com os requisitos de segurança previstos na NR-12.

A contextualização das normas regulamentadoras serve para entender o processo da regulamentação de novas tecnologias desde a sua chegada em território brasileiro até a autorização para a sua venda no mercado. Em seguida, é interessante compreender como são vendidas as tecnologias quando chegam no mercado e quais são as estratégias dos fornecedores para convencer as empresas a comprarem essas inovações.

Por meio disso, o tópico a seguir buscou apresentar as estratégias e meios para a venda dos Robôs Colaborativos e Exoesqueletos após o processo de Regulamentação Normativa.

Materiais didáticos e de divulgação acerca das tecnologias analisadas

COBOTS

Fabricante A – O fabricante diz que seu produto traz uma abordagem modular e móvel de montagem no chão de fábrica, o que proporciona um enfrentamento da alta complexidade trazida pelo aumento da variedade de produtos e a contínua integração de novos processos na produção. Essas características almejam o aumento produtivo, da qualidade e dos benefícios de economia de custo, além de proporcionar a diminuição da carga física sobre o trabalhador. No site do fabricante há relatos de casos de sucesso na implementação em empresas grandes ao redor do mundo, como Nissan, Bajaj Auto Ltd. e Continental Automotive. Também relatam a aplicação em uma empresa de menor porte chamada SHAD.

Modelos de COBOTs do Fabricante A:

UR3e – Robô Colaborativo de Mesa

| Raio | Carga Útil | Área Ocupada | Peso |
|--------|------------|--------------|---------|
| 500 mm | 3 kg | 128 mm | 11.2 kg |

Figura 11. UR3e Robô Colaborativo de Mesa



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Universal Robots

UR5e – Equilíbrio entre Tamanho e Força

| Raio | Carga Útil | Área Ocupada | Peso |
|--------|------------|--------------|---------|
| 850 mm | 5 kg | 149 mm | 20.6 kg |

Figura 12. UR5e Equilíbrio entre Tamanho e Força



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Universal Robots

UR10e – Torna a Automação Colaborativa acessível ao negócio – Robô mais vendido pelo Fabricante A

| Raio | Carga Útil | Área Ocupada | Peso |
|---------|------------|--------------|---------|
| 1300 mm | 12.5 kg | 190 mm | 33.5 kg |

Figura 13. UR10e Torna a Automação Colaborativa Acessível ao negócio



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Universal Robots

UR16e – Permite acessórios e atividades mais pesadas

| Raio | Carga Útil | Área Ocupada | Peso |
|--------|------------|--------------|---------|
| 900 mm | 16 kg | 190 mm | 31.1 kg |

Figura 14. UR16e Permite acessórios e atividades mais pesadas



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Universal Robots

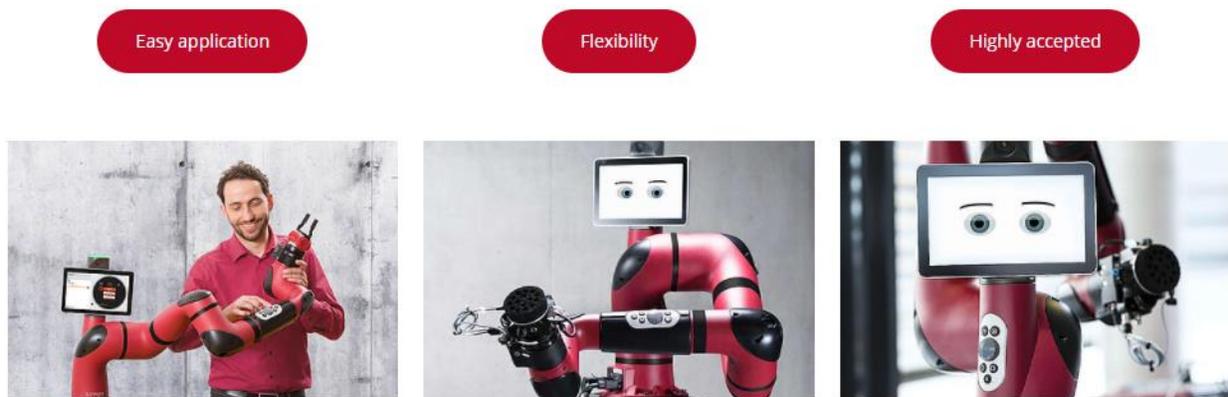
Fabricante B – O fabricante promove o seu produto vendendo a ideia de uma tecnologia que contribui para um ambiente de trabalho mais seguro, atuando em ambientes que os seres humanos não podem, tais como tarefas perigosas ou monótonas ao trabalhador, como montagem de máquinas, montagem de placas de circuito, processamento de metal, moldagem por injeção, embalagem, carga e descarga, bem como testes e inspeções. Além disso proporciona um ambiente de trabalho mais silencioso e menos estressante, quando comparado ao ambiente dos robôs industriais. Esse produto funciona através do software Intera (tecnologia também vendida pelo Fabricante B) que é continuamente atualizado e oferece métricas de produção em tempo real. O produto também possui um design “amigável”, o que, segundo o Fabricante B, facilita a aceitação da tecnologia pelos trabalhadores.

Modelo de COBOT do Fabricante B

COBOT do Fabricante B – Fácil Aplicabilidade, Flexibilidade e Ótima Aceitação

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Braço Robótico – Graus de Liberdade | Raio |
| 7 | 1260 mm |

Figura 15. Sawyer BLACK Edition: Imagem tirada do site do Fornecedor B



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Rethink Robotics

Fabricante C – O fabricante diz que seus robôs colaborativos da série CR oferecem mais opções, mais carga útil, mais alcance e mais velocidade do que qualquer outra série COBOT no mercado. Além disso garantem a certificação de segurança, fornecendo COBOTs que trabalham lado a lado com os humanos, agregando valor aos processos envolvidos com a tecnologia. O Fornecedor C garante que a aquisição das tecnologias é a solução para empresas de pequeno e grande porte, proporcionando uma rápida instalação, fácil utilização e alta confiabilidade. Por conta desses fatores dizem possuir o produto que é a solução que impulsiona a produtividade e oferece novas oportunidades de crescimento, além do retorno rápido de investimento.

Modelos de COBOTs do Fabricante C

Figura 16. Série CR de COBOTs com Carga Útil e Alcance de cada modelo



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Fanuc

EXOESQUELETOS

Fabricante A – Esse fabricante fornece exoesqueletos industriais de membros superiores (MMSS) e de Tronco, passivos e que tem como objetivo proporcionar ao cliente mais estabilidade postural e assim reduzir os esforços na realização de atividades que exigem do complexo dos ombros, braços e costas, buscando uma otimização de produtividade e a diminuição da carga física. Alegam que seu produto é altamente tecnológico, porém ainda assim é dotado de extrema simplicidade de manuseio e vestimenta, com tempos de 30 segundos para sua colocação.

Sua produção é totalmente brasileira, e por isso o custo e manutenção do equipamento é mais barato se comparado a de produtos importados, aguentando até 600 mil ciclos, simulando a utilização em um ambiente 24x7, com 3 turnos por 1 ano sem manutenção. Além de fornecerem o equipamento em tamanhos P, M e G, possuem serviços atrelados ao seu produto, como o acompanhamento por 6 meses da implementação do equipamento junto ao cliente, conforme o exemplo da figura 17.

Figura 17. Orçamentos Exoesqueletos ExyONE

Solicite um orçamento e experimente

| Experiência P | Experiência M | Experiência G |
|---|---|--|
| R\$14.268,00 | Sob encomenda | Sob encomenda |
| <ul style="list-style-type: none">• 2 exoesqueletos industriais para membros superiores;• 6 meses de testes com acompanhamento;• 20% do custo dedutível quando comprar 2+ equipamentos Exy. | <ul style="list-style-type: none">• 6 exoesqueletos industriais para membros superiores;• 6 meses de testes com acompanhamento;• 30% do custo dedutível quando comprar 4+ equipamentos Exy. | <ul style="list-style-type: none">• 12 exoesqueletos industriais para membros superiores;• 6 meses de testes com acompanhamento;• 40% do custo dedutível quando comprar 6+ equipamentos Exy. |
| QUERO TESTAR | QUERO TESTAR | QUERO TESTAR |

Fonte: Imagem extraída do site da empresa Exy Innovation Company

Características Técnicas do Equipamento

Figura 18. Especificações Técnicas dos modelos de Exoesqueletos ExyONE Shoulder e Back Lite

ExyONE Shoulder

- Equipamento M/G que atende operadores acima de 1,68m com menos pontos de regulagem (mais simples para o usuário);
- Projeto e fabricação brasileira, diminuindo custo de aquisição e manutenção (garantia 12 meses);
- Equipamento mecânico, sem necessidade de baterias ou eletricidade, disponível para uso 24x7 (multi turnos);
- Peso a partir de 3,8 quilos, com opção para retardante a chamas ou para uso em atividades de solda (resistente a metais fundidos);
- Regulagem de força em 4 níveis para uma melhor adaptação à atividade/ao usuário;
- Liberdade de movimentação de tronco (rotação), braços e ombros;
- Desenvolvido com base em biomecânica e com comprovação científica através de testes de eletromiografia pela UTFPR;
- Versão conectada (IoT) para fornecimento de informações sobre o uso do equipamento (horímetro), manutenção e também informações sobre o usuário, como horas de uso, ângulos de elevação dos braços etc.



ExyONE Back Lite

- Equipamentos P ou M/G, atendendo um maior alcance de usuários nas operações;
- Projeto e fabricação brasileira, diminuindo custo de aquisição e manutenção (garantia de 12 meses);
- Equipamento confeccionado 100% em tecido, sem necessidade de baterias ou eletricidade, disponível para uso 24x7 (multi turnos);
- Peso de apenas 930 gramas;
- Regulagem de força para uma melhor adaptação à atividade/usuário;
- Liberdade de movimentação de tronco (rotação) e pernas, agachamento, sentar, etc;
- Desenvolvido com base em biomecânica e com comprovação científica através de testes de eletromiografia pelo SESI;



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Exy Innovation Company

Fabricante B – Esse fabricante fornece um Exoesqueleto Industrial de membros superiores (MMSS), passivo e que tem como objetivo tornar o trabalhador o centro do processo produtivo, visando assim fábricas mais modernas, eficientes e produtivas. Alega que seu produto preserva e valoriza as capacidades do trabalhador através da redução das cargas físicas, como excesso de carga e Lesões por Esforço Repetitivo (LERs).

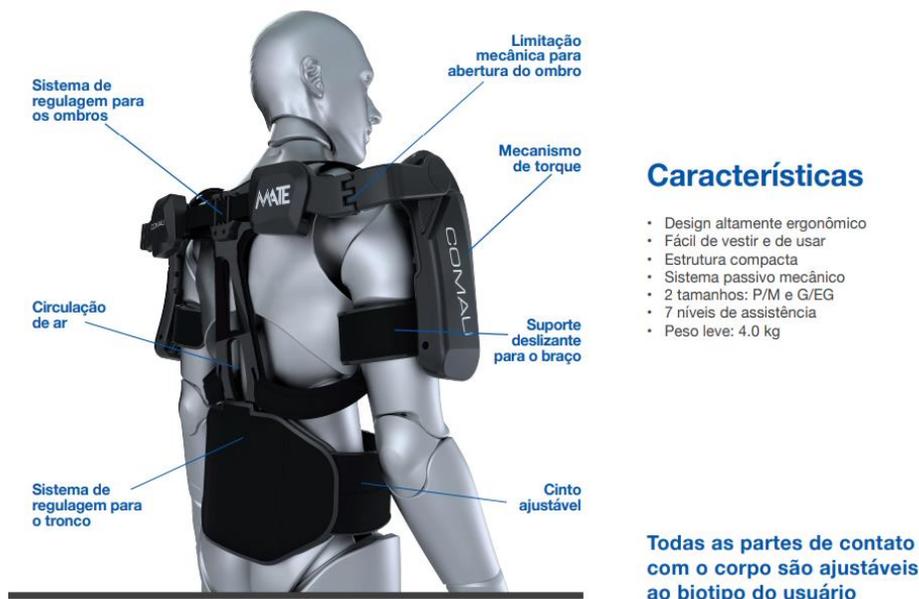
Segundo o fabricante, essa tecnologia se ajusta a diferentes estruturas corporais, dando suporte diário ao trabalhador e trazendo conforto, o que conseqüentemente aumenta a qualidade, eficiência e consistência dos trabalhos repetitivos realizados.

O site do Fabricante B disponibiliza a brochura do seu produto e nela relatam a redução média de 30% da fadiga muscular no movimento de extensão de ombro, pois todo esforço é dissipado pelos pontos de contato com o corpo e as caixas de torque que transformam energia potencial em torque para reduzir carga.

Características Técnicas do Equipamento

Exoesqueleto Comau - M.A.T.E

Figura 19. Especificações Técnicas do Exoesqueleto Comau – M.A.T.E



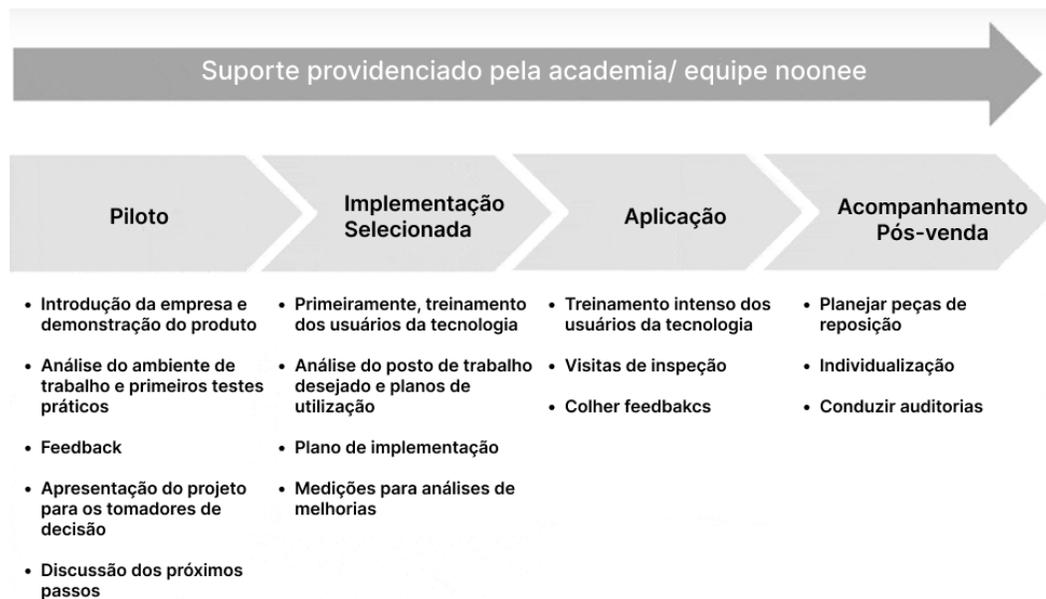
Fonte: Imagem extraída do site da empresa Comau

Fabricante C – Esse Fabricante fornece um Exoesqueleto Industrial de Membros Inferiores (MMII), passivo e alega que seu produto é a nova cadeira sem cadeira, onde o trabalhador pode realizar suas atividades e tarefas de forma segura, diminuindo o estresse sobre a coluna lombar de quem as executa.

Segundo o fabricante, o produto possibilita uma mudança rápida, fácil e flexível entre as posturas sentada, em pé e a caminhada, o que não gera obstáculos na execução de tarefas dos trabalhadores. Além disso o fabricante garante que o Exoesqueleto permite a substituição de cadeiras por esse mecanismo versátil, permite a vestimenta em menos de 30 segundos, reduz os custos por afastamento de trabalhadores e mantém a produtividade, porém de forma mais confortável.

O diferencial desse fabricante em relação aos outros estudados é que, em seu website, apresentam uma proposta de implementação de seu produto dentro das empresas que o adquiriram. Dessa forma propõe um processo padrão de implementação com assistência de uma equipe especializada, para assim entender o funcionamento e necessidade de cada cliente. O modelo proposto é o apresentado na Figura 20.

Figura 20. O processo de implementação da Cadeira sem Cadeira



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Noonee

Características Técnicas do Equipamento

Figura 21. Especificações Técnicas do exoesqueleto Noonee para Membros Inferiores (MMII)

Exoesqueleto Noonee para membros inferiores

- Aplicável em funcionários desde 1,50 m até 2,00 m de altura
- Materiais respiráveis e confortáveis
- Redução de 25% do peso em relação a versão inicial
- Sem limitações de movimento no ambiente de trabalho
- 4 Pontos de fixação dos cintos



Fonte: Imagem extraída do site da empresa Noonee

3.1.5. Síntese e Lacunas do Referencial Teórico

Após análise preliminar feita no Referencial teórico do presente estudo, alguns pontos de ressalva foram identificados como importantes e que representam lacunas nos estudos que relacionam Indústria 4.0 e as tecnologias que, supostamente, vieram como práticas aplicáveis ao campo da ergonomia física. Primeiramente, identificou-se que existe uma contradição quanto ao enquadramento dos Robôs Colaborativos e Exoesqueletos na literatura.

Os Robôs Colaborativos podem ser considerados uma tecnologia 4.0, uma vez que tem características técnicas que a vinculam aos nove pilares principais da indústria 4.0. Isso pois possuem conectividade, compartilham dados em nuvem e armazenam em big-data. Porém, o aspecto que gera questionamento é o fato dela ser mais voltada ao campo de saúde do trabalhador e a áreas da engenharia. Isso pois são atreladas a normas e regulamentações técnicas que

prescrevem um tipo de utilização que visa evitar acidentes de trabalho graves, como lesão corporal ou decepamento de membros.

A ergonomia física, a qual a tecnologia foi atrelada, busca toda uma reestruturação do trabalho, adaptação do trabalho ao trabalhador, para assim, posteriormente, reduzir a sobrecarga física sobre esse funcionário. Logo, por mais que os Robôs colaborativos possam ter características que o vinculem à ergonomia física, esse não é o seu foco principal como inovação, o que justifica aqui sua retirada como foco de estudo da dissertação aqui em questão. Fica aqui a sugestão para que outros estudos façam análises mais aprofundadas sobre os Robôs Colaborativos

Em relação ao enquadramento dos exoesqueletos como tecnologia 4.0, observa-se que nenhum dos pilares da indústria 4.0 estão presentes na descrição dos produtos vendidos pelos fornecedores. Existem algumas versões de exoesqueletos passivos disponibilizados para venda que possuem conectividade IoT e IoS e acelerômetros que medem a quantidade de movimentos em um ciclo de trabalho, mas essa tecnologia não está diretamente relacionada com os pilares da Indústria 4.0.

Essa observação abre margem para uma discussão já existente na literatura que é sobre os modismos gerenciais. Para contextualizar, segundo Dichter (1995), Filardi et al. (2010) os modismos gerenciais são como a moda, ou seja, um estilo que prevalece em qualquer tempo, ou que busca a novidade por si própria. A adoção e a popularização de ferramentas gerenciais pelos gestores têm se caracterizado como sendo fenômenos muito parecidos com os processos de origem estética.

A diferença marcante entre a moda tradicional e os modismos gerenciais pode ser encontrada no contexto organizacional. As organizações que adotam inovações são percebidas como flexíveis e adaptáveis. Organizações que não adotam inovações são vistas como inertes ou patológicas, ignorando as mudanças e isolando-se do meio ambiente. Portanto, tanto a moda quanto os modismos são estratégias de rápida e fácil implementação para quebrar essa lógica, o que as torna verdadeiros objetos de sedução (DICTER, 1995; FILARDI et al., 2010)

O mesmo é apontado por Abrahamsom (1996), que diz que sob condições incertas as organizações tendem a imitar umas às outras. A diferença é que, na perspectiva da moda, as

organizações são influenciadas por atores de fora de seu grupo, e, na perspectiva do modismo, as inovações são difundidas quando as organizações imitam outras do mesmo grupo - “Quando uma pessoa adota um novo estilo no mundo da moda, isso significa um antídoto à obsolescência – ela se despe da roupa velha e assim se livra de tudo que é antigo, rejuvenesce, pelo menos na aparência”. Dessa forma, observa-se em ambas as tecnologias estudadas, traços do modismo gerencial, o que é abordado nos resultados dos casos.

A implementação de tecnologias é importante para a melhoria de organizações, pois servem de base para tomada de decisões, buscam melhorar processos e ganhar tempo e produtividade. Embora sejam imprescindíveis, toda implementação requer uma análise profunda, tempo e dedicação, o que, muitas vezes, não acontece com Robôs Colaborativos e Exoesqueletos (CALDAS; WOOD, 1999).

Evidencia-se então uma massificação de teorias e conceitos transmitidos e reproduzidos por empresas, fornecedores, mídia e revistas de negócios, articulando assim uma real indústria do gerencialismo (WOOD JR.; PAES DE PAULA, 2001). Ou seja, busca-se, por meio dos fornecedores, atrelar essas tecnologias à indústria 4.0, visto que esse é um assunto em alta no mercado.

Como mostrado na RBS 3 do presente estudo, a maioria das empresas no Brasil ainda transitam entre a segunda e terceira revolução industrial, o que justifica o aumento da compra dessas tecnologias. Como essas empresas estão em um mercado estagnado e querem “usar a roupa da moda” sem se tornarem obsoletas, estão vulneráveis a um mercado que vende soluções rápidas e milagrosas e que vinculam tecnologias a uma era tecnológica muito estudada na atualidade.

Isso relaciona-se também com o princípio da diferença entre o prescrito e real, constante da ergonomia da atividade. Segundo Guérin et al. (2001), trabalho prescrito (tarefa) é tudo aquilo que é definido antecipadamente pela organização e fornecido ao trabalhador para que o mesmo possa realizar o trabalho. Por outro lado, o trabalho real (atividade) é o trabalho tal como ele se realiza concretamente, mediante condições reais para esta execução. Entre o trabalho prescrito e o trabalho real se inscrevem múltiplas variabilidades relativas ao processo de trabalho (meios, matéria e atividade) e que não podem ser previamente antecipadas.

É no espaço entre o trabalho prescrito e o trabalho efetivamente realizado que se inscreve a realidade da atividade humana em meios profissionais. Para a Ergonomia da Atividade, “o trabalho nunca é simples execução das instruções” (DANIELLOU, 2004). O trabalho é compreendido como uma das atividades humanas em que o objetivo é determinado socialmente assim como as normas e condições para sua execução, mas o resultado do trabalho é sempre singular.

Logo, no caso das tecnologias há uma prescrição da utilização dessas em meio ao trabalho dos operadores (tarefa), porém ignora-se o processo de análise e compreensão da atividade no momento de implantação, em busca de uma solução imediatista (atividade/ real). Isso vai contra os princípios da Análise Ergonômica do Trabalho (AET), que segundo Guérin et al. (2001) é uma metodologia essencial para examinar a complexidade do trabalho e a partir da observação das situações reais e dos fatores humanos e organizacionais, propor uma mudança.

A análise da diferença entre o prescrito e real se dá também no nível do profissional que implanta na empresa, ou seja, entre o que o fornecedor diz que vai acontecer com a tecnologia e aquilo que de fato acontece quando ocorre a implantação.

Visto que a fase da compreensão do fenômeno é importante para a definição de um paradigma, o estudo em questão vale-se da utilização da metodologia do estudo de caso para a investigação das práticas identificadas na primeira parte de resultados (referencial teórico + documentos de divulgação de empresas do setor), afim de contribuir para o preenchimento das lacunas aqui identificadas.

3.2. RESULTADO DO ESTUDO DE MULTIPLOS CASOS

3.2.1. Empresa A

A empresa do primeiro caso é do setor automotivo e possui filiais por todo o mundo. A unidade abordada é localizada no interior de São Paulo. Essa planta mantém três turnos de produção trabalhando ininterruptamente a maior parte do tempo.

Sendo uma empresa de grande porte, possui setores internos bem estabelecidos e, alguns deles, são voltados para a melhoria contínua, inovação, tecnologia, pesquisa e desenvolvimento e ergonomia. Por conta disso, a empresa está constantemente em busca de tecnologias ou soluções

que contribuam para esse processo de melhoria. A cultura da organização é direcionada para a melhoria contínua tendo como um de seus princípios a ergonomia.

Os dois relatos que serão apresentados a seguir são de ex-funcionários da empresa que expõe sua opinião pessoal e experiência de implementação com os exoesqueletos industriais.

Entrevistado 1

Seção A e B – Sobre o Entrevistado e Experiência com os Exoesqueletos

A entrevistada 1 é Fisioterapeuta do trabalho e relata que já teve experiência com exoesqueletos passivos de membros inferiores, acompanhando sua implementação em linha de montagem automotiva, conforme verbalizado a seguir. – “Já tive a oportunidade de testar alguns exoesqueletos, mas o que eu mais tive proximidade e foi testado na produção foi o exoesqueleto de membros inferiores. O de membros superiores eu já usei, já vesti, já provei, já fiz um ou dois testes, já acompanhei a implementação, mas o que eu posso te falar com mais propriedade são os de membros inferiores para a posição sentada (Informação verbal)”.

Além disso, diz que durante o seu período de testes com os exoesqueletos passivos para membros inferiores, não utilizou ou vinculou nenhuma tecnologia 4.0 ao uso dos exoesqueletos, pois não possuíam a questão da conectividade, que é o que caracteriza a indústria 4.0, conforme detalhado na sequência.

Seção C – Indústria 4.0 e Ergonomia

Ela, que é fisioterapeuta de formação, acredita que a indústria 4.0 é uma área que envolve a interação entre robôs e seres humanos de forma colaborativa, e que traz desafios para as empresas que adquirem suas tecnologias. – “Entendo que a indústria 4.0 vem com essa interação maior de robôs com seres humanos, com o robô realmente pensando e trabalhando junto e como são robôs mais inteligentes, isso gera desafios para as empresas. Eu acho que, como tudo na teoria acaba sendo mais fácil, quando a gente vai implementar na prática, no nosso dia a dia, tem muitas características que são intrínsecas aos processos, envolvem várias habilidades, então eu acho que como tudo novo existe esse desafio da implementação e adaptação (Informação verbal)”.

Também acredita que essa nova era pode interferir positivamente no campo da ergonomia, ajudando em projetos, análises estatísticas e de melhoria. – “Os robôs realmente podem auxiliar em atividades e cada vez mais os projetos tem levado em consideração a facilidade de utilização das pessoas, então, por exemplo, um robô colaborativo é algo simples de um operador trabalhar, o operador não precisa ficar pensando muito para interagir com um robô então isso facilita a atividade. Além disso, tem toda a inteligência dos robôs, softwares e sistemas que podem ajudar a gente no nosso dia a dia de trabalho também (Informação verbal)”.

Seção D – Tecnologias (Exoesqueletos) x Empresa

Em relação a experiência com a tecnologia, diz que já sabia sobre o uso de exoesqueletos na área de reabilitação neurológica ou na área militar, mas que conheceu os exoesqueletos para linhas de montagem através da empresa que trabalhava e de uma reportagem sobre a sua chegada no Brasil. Isso a motivou a realizar buscas isoladas sobre o produto. A transcrição a seguir traz essa verbalização – “Eu tinha pouca informação, foi por isso que eu comecei a estudar um pouco mais sobre ela para quando fosse aplicar na prática. Mas o que eu sabia era relacionado a reabilitação neurológica e, principalmente, na utilização militar, então a gente sabe que o propósito do exoesqueleto começou dessa forma. Isso era o que eu conhecia, sabia que era um dispositivo para auxiliar em movimento, na força, mas era muito fora da minha realidade de trabalho (Informação verbal)”.

Em sua vivência com os exoesqueletos para membros inferiores, ou “cadeiras sem cadeira” (similar ao apresentado na figura 20), a entrevistada diz que antes mesmo de entrar na empresa em que trabalhava, essa tecnologia já havia sido comprada e tentativas de implementação realizadas. Quando entrou, se deparou com dois exoesqueletos que estavam em desuso, e assim, tentou implementá-los novamente. Sua estratégia inicial foi analisar os postos de trabalho e atividades realizadas em cada um, focando nas atividades que possibilitassem o trabalho em pé e sentado.

-“A gente aplicou na montagem automotiva, em diversos postos desse setor na verdade. A tecnologia foi testada nessas linhas, porém não foi implementada em nenhuma. O teste foi para ver se seria possível deixá-la em algum posto com atividades específicas. A estratégia era escolher o posto por tipo de atividade e como o nosso exoesqueleto era de membro inferior, pensamos em

atividades que os operadores conseguissem trabalhar em pé e sentado, então era de acordo com a característica da atividade (Informação verbal)”.

Novamente, a tentativa foi falha. Assim sendo, a entrevistada considera que, por mais que tenham adquirido experiência em relação à tecnologia, os únicos benefícios trazidos foram a possibilidade de alternar posturas durante o trabalho, mas relata que as desvantagens foram maiores que os benefícios.

Para a fisioterapia e ergonomia, a alternância postural do trabalho se mostra importante a medida que pode evitar o surgimento de Doenças Osteomusculares Relacionadas ao Trabalho (DORT) e Lesões por Esforço Repetitivo (LER), além de promover uma melhor circulação venosa global, de forma mais intensa em membros inferiores. A verbalização a seguir evidencia esses argumentos – “A única vantagem foi a possibilidade de alternar uma postura em pé e sentado, não consigo identificar nenhuma além dessa (Informação verbal)”.

As desvantagens envolviam sensação de cair para trás, sensação de calor, cansaço de membros inferiores ao permanecer sentado, desconforto nos glúteos por ficar apoiado por muito tempo, restrição de movimentos na postura sentada, dificuldade de avançar com a linha de montagem que se move e o perigo de prender o pé de borracha nas esteiras da linha de montagem.

Para melhor compreensão desses fenômenos elencados como desvantagens do uso de exoesqueletos, é válido destrinchar o que algumas dessas sensações podem significar com base na visão da fisioterapia.

Em relação à sensação de desequilíbrio, ou como descrito pela entrevistada, sensação de cair para trás, pode-se relacionar esse fenômeno com a perda da propriocepção do corpo. A propriocepção é a capacidade do ser humano em reconhecer a localização espacial do corpo, posição e orientação, a força exercida pelos músculos e a posição de cada parte do corpo com relação às demais, sem necessariamente usar a visão. Como forma de entender esse fenômeno, observa-se que o equipamento (exoesqueleto) dificulta essa percepção espacial do corpo do funcionário ao executar sua tarefa e por isso gera o desequilíbrio.

A sensação de calor já é um fenômeno que assola boa parte dos operários em indústrias no Brasil e no mundo, portanto sua própria vestimenta já é um fator incomodo para a execução da

atividade rotineira. Uma vez que se entra com o exoesqueleto no chão de fábrica, esse ficará em contato constante com o corpo do trabalhador e pode potencializar ainda mais o desconforto e a percepção de calor.

Já em relação a sensação de cansaço de membros inferiores, pode-se dizer que o equipamento acaba gerando um estranhamento por parte do trabalhador em relação a estar em uma postura sentada, mas apenas apoiado por uma pequena armação. Isso acaba gerando um tensionamento de vastos da perna (quadríceps) pela falta de confiança no equipamento. Dessa forma, além de o trabalhador ter que se ocupar com a atividade, tem que levar em conta a questão de equilíbrio.

Por último, deve-se falar sobre a restrição de movimentos na postura sentada. Essa posição com o exoesqueleto é desfavorável para a execução da rotação de tronco ou corpo inteiro. Isso gera uma restrição da amplitude de movimentos em diferentes planos que podem, futuramente, gerar desconfortos musculoesqueléticos e de bem-estar no operário. A verbalização a seguir descreve como e onde esses desconfortos foram relatados.

- “A gente teve muitas dificuldades de adaptação. Eu lembro que algumas pessoas se queixavam da sensação de cair para trás, sensação de calor, cansaço de membros inferiores ao permanecer sentado, desconforto nos glúteos por ficarem apoiados por muito tempo. Como ele é de membros inferiores e tem um pé de borracha esse pé podia bater no chão ao andar e por isso tinha que estar bem vestido (Informação verbal)”.

- “Em relação ao processo, a gente levantou algumas coisas, como por exemplo, quando o funcionário estava na postura sentada o exoesqueleto acabava restringindo alguns movimentos. Outro exemplo é que os operadores avançam de acordo com a linha de produção, então quando ele estava sentado a linha avançava e ficava difícil dar a passada para o lado sentado, então era melhor ficar em pé. Também, em uma das linhas, havia uma esteira e os funcionários corriam o risco de encaixar o pé emborrachado nela. Outro fator é que ficar na postura sentada também acabava dificultando o alcance do operador, o que se fosse feito em pé seria mais fácil. A gente preferia deixar um banquinho com rodinha do que fazer as pessoas usarem os exoesqueletos e por isso levantamos mais dificuldades do que benefícios (Informação verbal)”.

Para melhor compreensão da tecnologia, a entrevistada fez um benchmarking em outra multinacional do setor automotivo, a pioneira da tecnologia no Brasil, e averiguou que em alguns postos de trabalho as pessoas estavam usando os exoesqueletos. Embora implementados, a entrevistada ressalva que se trata de uma situação ideal e que a empresa faz o acompanhamento próximo das tecnologias, realiza medições constantes junto aos trabalhadores, além de terem toda uma estrutura organizacional atrelada a essas tecnologias.

Seção E – Tecnologias (Exoesqueletos) x Trabalhador

Embora a entrevistada tenha afirmado que o intuito da compra da tecnologia foi para melhorar o bem-estar dos funcionários, principalmente para conseguir a alternância postural, a mesma afirma que tinham como objetivo também passar a imagem de uma empresa tecnológica.

– “Nosso objetivo era melhorar o bem-estar dos funcionários, porque era algo que a empresa já estava tentando implementar para conseguir a alternância postural, mas às vezes as pessoas pensam em soluções muito complexas ao invés de pensar no simples, como colocar um banquinho. Outro objetivo que tínhamos ao trazer os exoesqueletos para a linha de montagem era o de passar a imagem de uma empresa tecnológica, então foram esses dois os principais motivos para comprarmos o exoesqueleto (Informação verbal)”.

Com isso, a entrevistada relata que o feedback geral dado pelos trabalhadores em relação a interação com a tecnologia foi o de satisfação mediana, pois relataram que o produto parece “competir” com o seu corpo o tempo todo, o que gera desconforto e promove um mal-estar percebido da atividade atrelada à tecnologia. Dessa forma, a entrevistada afirma que como o objetivo principal era melhorar o bem-estar dos trabalhadores com o exoesqueleto, esse não foi alcançado. – “A equipe desenvolveu um banquinho com regulagem e ele promoveu muito mais o bem-estar percebido do que o exoesqueleto, além de não termos alcançado com ele a visibilidade como empresa tecnológica que buscávamos (Informação verbal)”.

Seção F – Situação Atual da tecnologia 4.0 na empresa

A entrevistada diz que a tecnologia não é mais testada e nem foi implementada em nenhum dos postos de trabalho da empresa, e muito disso se deve ao fato de o exoesqueleto mais atrapalhar do que ajudar no processo. Outro fator foi a questão do custo dos equipamentos, a dificuldade de

revezamento de postos de trabalho com a utilização do exoesqueleto e também o fator de higiene, onde as partes do equipamento que ficam em contato com o corpo teriam que ser trocadas com frequência por conta do contato com o suor e fluidos de outros funcionários.

- “Não foi viável para o nosso processo produtivo, acaba que o equipamento mais atrapalha do que ajuda. Além disso a gente tinha outras dificuldades, por exemplo, é um equipamento caro e as pessoas precisam fazer revezamento entre os postos de trabalho e são mais de 18 postos de trabalho, portanto teríamos que comprar vários equipamentos diferentes para todas as pessoas e eles teriam que fazer essa troca, além de ter que trocar o tecido do exoesqueleto para cada funcionário também (Informação verbal)”.

Ao ser questionada se recomendaria o exoesqueleto passivo para membros inferiores para outras unidades da empresa, diz que só recomendaria em casos que houvesse um envolvimento da equipe com os trabalhadores e se houvesse uma análise detalhada dos postos de trabalho para que as melhores opções fossem levantadas. E além das análises também levar em conta a particularidade de cada trabalhador e dar a liberdade para que ele aceite ou não a utilização da tecnologia.

- “Eu recomendaria apenas em casos que fossem testados e estudados junto com a engenharia e que levassem em conta todas as melhorias feitas nesse processo. Eu já tive uma breve experiência com exoesqueletos para flexão de tronco, que até chegamos a testar. Acredito que esse modelo ajude em algum tipo de atividade e acabe dando um apoio, mas os testes não foram suficientes para tal conclusão (Informação verbal)”.

- “Eu acho que o exoesqueleto é um produto interessante para atividades muito específicas, para situações que uma pessoa se adaptou a ele. Por exemplo, eu fiz um benchmarking em uma grande empresa do setor automotivo e lá existem alguns postos de trabalho em que realmente conseguiram implementar. Lá os operadores estão usando os exoesqueletos e a empresa faz o acompanhamento, faz medições próximas a eles para orienta-los. Então eu recomendaria para casos que tivessem esse acompanhamento e se fosse a única alternativa encontrada depois de estudar muito. Agora, se a gente tem outras opções, por exemplo substituir por um banquinho ou fazer um projeto de melhoria de mudança de posto de trabalho, de mudança de Tecnologia, enfim, seja lá o

que for, eu iria para esse lado, porque é uma abordagem que foca mais no operador e faz ele pensar e ter cautela (Informação verbal)”.

Por último ela fala sobre o nível de capacidade que foi adquirida pela empresa para poder ensinar/ treinar outros setores. Ela diz que por terem vivenciado por meses a implementação da tecnologia e acompanhado de perto os processos de análise e implementação, se sentem capacitados a orientar outros setores sobre a tecnologia, caso futuramente ela venha a ser usada. Porém, reforça que a implementação depende do tipo de exoesqueleto a ser implementado, e que se sentem capacitados a treinar operadores que utilizariam os exoesqueletos passivos para membros inferiores e sabem identificar situações favoráveis ou não para ele.

- “Acho que a gente pode ensinar a partir da nossa experiência com esse tipo de exoesqueleto específico, tipo de atividade que a gente aplicou, tanto é que eu fiz uma apresentação na ABERGO dos resultados do estudo de caso e testes que realizamos na empresa. Então eu acho que dá sim para ensinar outras pessoas, outros setores (Informação verbal)”.

Para ela, os requisitos recomendados para que uma empresa possa adquirir o exoesqueleto devem ser: Entender sobre a tecnologia antes de qualquer aquisição e realizar testes pilotos com os diferentes tipos de exoesqueleto, afim de identificar a melhor opção para a atividade. – “acredito que as empresas devem fazer Testes Piloto dentro dos setores ou dos postos e a partir daí testar com tecnologias de diversos fornecedores, diversos equipamentos, diversas pessoas, diversos turnos, diversas épocas do ano, por que a temperatura faz diferença. No calor você teria uma vestimenta a mais além do uniforme e EPIs e são coisas que fazem diferença no bem-estar dos funcionários (Informação verbal)”.

Em suma, a participante diz que só recomendaria os exoesqueletos em situações parecidas a essa ou se fossem a única opção, como em atividades muito específicas e situações em que uma pessoa se adaptou a ele. Se opções mais baratas e acessíveis fossem levantadas, como um banquinho ou um projeto de mudança de posto de trabalho, optaria por essas alternativas, porque tem seu foco voltado para o operador.

A figura 22 a seguir ilustra as respostas do entrevistado 1:

Figura 22. Síntese das respostas do entrevistado 1

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|---|--|--|
| <p>EMPRESA A</p> <p>Setor automotivo</p> <p>Entrevistado 1</p> | <p>Seção A Sobre o Entrevistado</p> | <p>Seção B Experiência com os Exoesqueletos</p> | <p>Seção C Industria 4.0 e Ergonomia</p> | <p>Seção D Exoesqueletos x Empresa</p> | <p>Seção E Exoesqueletos x Trabalhador</p> | <p>Seção F Situação atual da tecnologia na empresa</p> | <p>Contribuições</p> |
| | <p>Fisioterapeuta</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Passivos de membros inferiores • Tentativa de implementação em linhas de montagem automotiva • Diz que compraram os exoesqueletos para passar a imagem de uma empresa tecnológica e moderna • Quando entrou na empresa já haviam tentado implementar os exoesqueletos, porém caíram em desuso. Após tentar uma nova implementação, foi inutilizado novamente. | <ul style="list-style-type: none"> • Para ela Indústria 4.0 tem a ver com a Interação entre Robôs e seres humanos • Indústria 4.0 ajuda a ergonomia com projetos, análises estatísticas e de melhoria • Exoesqueleto deve ser desvinculado da indústria 4.0 | <ul style="list-style-type: none"> • Vantagens - possibilidade de alternar posturas em pé e sentado • Desvantagens - sensação de cair para trás, sensação de calor, cansaço de membros inferiores, desconforto nos glúteos, restrição de movimentos na postura sentada, dificuldade de avançar com a linha de montagem perigo de prender o pé de borracha nas esteiras | <p>Compraram os exoesqueletos para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melhorar bem-estar dos funcionários • Passar a imagem de uma empresa tecnológica • Feedback trabalhadores - satisfação mediana | <ul style="list-style-type: none"> • Inutilizado • O entrevistado diz que só recomendaria o exoesqueleto para outras empresas e setores caso outras soluções mais simples não fossem encontradas • Se considera capacitado a ensinar sobre a tecnologia | <p>Em suma, a participante diz que só recomendaria os exoesqueletos em situações que eles fossem a única opção, como em atividades muito específicas e cenários em que uma pessoa se adaptou a ele. Se opções mais baratas e acessíveis fossem levantadas, como um banquinho ou um projeto de mudança de posto de trabalho, optaria por essas alternativas, porque tem seu foco voltado para o operador, seu bem-estar e envolvem uma equipe multidisciplinar e o trabalhador no processo.</p> |

Fonte – Autor

No caso A acima, a entrevistada 1 não respondeu a seção G pois não teve contato com os fornecedores e sentiu que não poderia responde-la com propriedade. Em relação a seção H, ela julgou que não seria necessário adicionar mais informações sobre o tema.

Entrevistado 2

O entrevistado 2 trabalhou na mesma empresa da entrevistada 1, portanto, trata-se da mesma situação de aplicação do exoesqueleto, porém, complementado pela visão de um engenheiro de produção.

Seção A e B – Sobre o Entrevistado e Experiencia com os Exoesqueletos

O segundo participante é Analista de processos e cuidava de uma parte da linha de montagem dessa companhia. Ele tinha 8 anos de empresa e nela já havia sido responsável por diversos setores como o da produção, melhoria de processos, eliminação de desperdício, otimização e qualidade.

Já teve experiência com o exoesqueleto passivo de membros inferiores na empresa e diz que tentaram a implementação dessa tecnologia em um processo na fábrica em que o operador tinha que fazer algumas montagens em pé e outras um pouco mais baixas, o que o obrigava a alternar posturas constantemente. Foi aí que decidiram escolher esse processo para tentar fazer a implementação dos exoesqueletos para membros inferiores. A verbalização a seguir detalhe essas informações.

– “A gente tinha um processo na fábrica em que o operador tinha que fazer algumas montagens em pé e outras um pouco mais baixas, o que o obrigava a alternar posturas constantemente. Foi aí que decidimos pegar esse processo para tentar fazer a implementação dos exoesqueletos para membros inferiores (Informação verbal)”.

Seção C – Indústria 4.0 e Ergonomia

Quando perguntado sobre o que ele acredita ser a indústria 4.0, ele diz que é a integração de tecnologia junto ao processo no chão de fábrica, para poder otimizar e melhorar os processos e equipamentos com as tecnologias trazidas, que propiciam a evolução da produção. Ele não fez a associação dos exoesqueletos como uma tecnologia 4.0, mas diz que poderia ser uma tecnologia

que possibilita a conectividade. As tecnologias presentes na empresa que ele julgava serem 4.0 eram outras, conforme dito a seguir.

– “Lá tinha bastante tecnologia, mas relacionada ao exoesqueleto não. Usávamos o RFID, sistemas wireless, sistemas integrados de rastreabilidade, ferramentas conectadas ao sistema de rastreabilidade para monitorar a produção, controle de qualidade, tinha muita coisa integrada entre o físico e o sistema. Mas nenhuma delas era vinculada ao uso dos exoesqueletos (Informação verbal)”.

Já, para ele, a relação ergonomia e indústria 4.0 é mais próxima, uma vez que a ergonomia é uma área muito ampla. Na verbalização a seguir, o entrevistado usa a palavra *job rotation* que tem o mesmo significado que revezamento de postos de trabalho, ou, revezamento entre trabalhadores. – “Por exemplo, a gente tinha muito *job rotation* na empresa, pois existem muitos processos lá e os operadores faziam essa troca de postos de uma em uma hora. Nosso papel também era monitorar e controlar essa troca de postos e ver quem estava no processo. Quando o operador mudava de um processo para o outro, por exemplo, ele já tinha que indicar qual o processo que iria e o horário (Informação verbal)”.

- “Uma das coisas que estavam em estudo para implementar era um sistema de crachá conectado a um sistema de rastreabilidade, em que ele já sai de um processo e passa o crachá que já manda para o sistema de rastreabilidade. Então essa era uma tecnologia utilizada que poderia fazer algo pela ergonomia. Ou seja, o *job rotation* existia, mas o pessoal tinha que anotar no papel o horário e o número da pessoa, o que depois virou um projeto de automação. O tempo lá é muito importante, então otimizar o tempo do operador fazendo esse *job rotation* era um ganho muito bom (Informação verbal)”.

Seção D – Tecnologias (Exoesqueletos) x Empresa

Em relação a experiência com a tecnologia, diz que ouviu falar sobre os exoesqueletos pela primeira vez em uma viagem de treinamento feita para o exterior. Havia uma exposição desses exoesqueletos e nela podiam testá-los. Foi em um desses testes que eles decidiram comprar a tecnologia para tentar implementá-la no Brasil. – “Fomos conhecer o exoesqueleto de membro inferior mesmo em uma viagem de treinamento feita no exterior. Havia uma exposição desses

exoesqueletos e nela podíamos testá-los. Foi em um desses testes que decidimos comprar a tecnologia para tentar implementá-la no Brasil (Informação verbal)”.

Em sua vivência com os exoesqueletos para membros inferiores, o entrevistado diz que o setor da empresa em que, inicialmente, tentaram fazer a implementação dos exoesqueletos foi um processo de montagem de acessórios em motores, onde há uma esteira em que os motores passam e o operador fica no posto de trabalho realizando a montagem de acessórios do motor. – “O motor fica, mais ou menos, na altura do peito do operador, mas em algumas etapas a posição era mais baixa, na parte de baixo do motor. Então ele tinha que tentar agachar para chegar nessa parte de baixo, e foi nesse posto que a gente tentou fazer a implementação (Informação verbal)”.

Posteriormente, também houve a tentativa de implementação em alguns outros postos de trabalho, só que esses outros postos possuem esteiras de linha de montagem que avançam, o que torna a implementação complicada, porque o operador perde a estabilidade facilmente com o uso do exoesqueleto, o que pode ser um fator de risco grave para o trabalhador. Ou seja, notou-se que além de o exoesqueleto não parecer entregar resultado significativo nesse posto de trabalho e tipo de linha de montagem, também aumentava os riscos aos quais o trabalhador se submeteria, portanto não seria uma boa solução para aquele ambiente. A fala a seguir exemplifica isso.

– “Por isso o exoesqueleto não deu muito certo nessas linhas. Em outra dessas linhas que a gente tentou a implementação, a esteira andava, mas o operador ficava no chão, parado, não era o operador sobre a esteira, mas sim o operador no chão (Informação verbal)”.

Em relação ao nível atual de maturidade de implementação da tecnologia na empresa, o entrevistado diz que os testes de implementação começaram por volta de 2016/ 2017 e foram realizados por um período de 2 meses, mas que notaram que a tecnologia não trouxe os benefícios esperados e que houveram muito mais desvantagens quando comparadas aos benefícios. – “Na verdade a gente ficou por um ou dois meses testando só que no final das contas vimos que não foi uma boa, o resultado não foi bom, e por isso interrompemos a implementação (Informação verbal)”.

Para o entrevistado o único benefício foi a possibilidade da rápida alternância de postura do trabalhador durante a atividade. Se levarmos em conta que a empresa investe um valor

considerável na compra de exoesqueletos para ter apenas um benefício observado, deve-se refletir a respeito de se esse equipamento pode ser um ponto de partida para tentar solucionar um problema, que muitas vezes, vai além da implementação de uma tecnologia.

Outro fator relevante é a questão da mobilidade do trabalhador com o uso dos exoesqueletos. Conforme observado no relato da entrevistada 1, esse modelo de membros inferiores dificulta a mobilidade, o alcance e a rotação de tronco, o que não acontece na presença de um banco com roda, portanto, por mais que haja a vantagem de alternância postural, ela é invalidada por outras desvantagens. A verbalização a seguir traz um pouco desse raciocínio.

– “Como o operador tinha que fazer alguns processos em pé e outros agachado ou sentado, ele ficava com a coluna curvada caso ele não sentasse ou agachasse. Então a gente tinha duas possibilidades, usar um banquinho com rodinha ou usar o exoesqueleto. A vantagem dele é que o operador estava fazendo os processos em pé e ele simplesmente sentava de forma rápida, então era só ele agachar e já estava sentado, tirando todo o esforço sobre as pernas e coluna, ficando na posição exata que ele precisava. Logo, ele podia ficar em pé e sentado bem rapidamente e seguir o processo (Informação verbal)”.

Porém, para o entrevistado, as desvantagens foram inúmeras, como a demora para a colocação e ajuste do exoesqueleto nos trabalhadores, o que atrapalhava no *job rotation*, o risco de desequilíbrio gerado pelo mal ajuste do exoesqueleto no corpo do trabalhador e o desconforto térmico. Para melhor compreensão dessas desvantagens é válido evidenciar alguns pontos relevantes de discussão.

Primeiramente, deve-se analisar a questão da demora na colocação dos exoesqueletos em meio ao processo produtivo. Conforme observa-se na revisão bibliográfica complementar do presente estudo, os fornecedores relatam que o operador pode estar vestido com o equipamento em apenas 30 segundos, o que permite que volte rapidamente ao trabalho. Porém, esse relato parece ilusório, uma vez que não foram levadas em conta as variabilidades da real execução da atividade. Portanto, parece haver uma diferença entre o que é prescrito pelos fornecedores no momento da venda e o que realmente acontece na cotidianidade do trabalho.

Esse argumento se fortalece, quando trazemos a segunda desvantagem que é sobre o ajuste do equipamento no corpo do trabalhador. Sem um bom ajuste, ocorre uma perda de propriocepção, ou seja, perda da percepção do trabalhador em relação ao seu corpo, o que gera desequilíbrio e aumenta o risco de acidentes. Além desse fator, se o trabalhador for ajustar o equipamento de forma devida, esse ajuste levará tempo e não pode ser feito em um período de apenas 30 segundos. Portanto, essa diferença entre o prescrito e o real parece interferir significativamente no revezamento de postos de trabalho.

Por último está a questão do desconforto térmico, que foi uma desvantagem trazida pela segunda vez até o momento. Essa discussão também é relevante, uma vez que além do calor que o operador passa com suas vestimentas normais, o exoesqueleto pode aumentar a sudorese, a qual penetra nos componentes do equipamento e levanta um debate sobre a higienização desse material. Duas alternativas são possíveis. A compra de um equipamento para cada funcionário ou o intercâmbio de partes para cada utilização, o que não parece viável se levado em conta o custo benefício. O relato a seguir traz a análise do entrevistado acerca desse tema.

– “As desvantagens foram, o tempo para vestir, o calor, esse risco de instabilidade do operador, que tinha que saber muito bem usar e ainda assim existia o risco de ele tombar. E no final das contas a gente viu que era melhor usar um banquinho com rodinhas, essa foi a nossa conclusão de todo o estudo que a gente fez. A gente já tinha um banquinho antes, mas fizemos um banquinho com rodinha boa, com regulagem de altura, um banquinho bem legal e todo mundo falava que era melhor usar o banquinho do que o exoesqueleto, era unanimidade. O operador tem mobilidade com o exoesqueleto, mas ele fica um pouco travado, se ele precisar andar ele anda, só que não tem a mobilidade ideal (Informação verbal)”.

Seção E – Tecnologias (Exoesqueletos) x Trabalhador

Quando questionado sobre os principais motivos para terem adquirido o exoesqueleto, disse que compraram para reduzir o índice de lesão dos trabalhadores e para melhorar o bem-estar dos funcionários, mas que o objetivo não foi alcançado. O feedback dos trabalhadores sobre o uso dos exoesqueletos passivos para membros inferiores foi negativo, levando a conclusão de que o banquinho ou uma cadeira eram opções melhores, mais baratas e mais objetivas, conforme dito na verbalização a seguir.

- “A conclusão era que todo mundo preferia o banquinho ou a cadeirinha que tinham a possibilidade da regulagem de altura para cada operador, podendo facilmente regular a altura e entrar no processo (Informação verbal)”.

Seção F – Situação Atual da tecnologia 4.0 na empresa

Com o conhecimento adquirido pelo entrevistado sobre a tecnologia, ele diz que não recomendaria o exoesqueleto passivo de membros inferiores, pois não mostraram benefícios maiores do que a utilização de um banco adaptável, além de piorarem o bem-estar percebido dos trabalhadores em alguns postos de trabalho. Outro fator relevante para a não recomendação do produto é a questão do alto valor de compra do equipamento, quando comparado aos benefícios que ele proporciona.

- “Eu não consegui ver uma vantagem dele em relação a uma boa cadeirinha com rodinha com regulagem de altura. Lá na empresa que eu trabalhei a gente tentou em alguns outros processos, mas eram processos que ficaram ainda piores com ele. A gente pensou e não encontrou nenhum outro posto que podia ser usado (Informação verbal)”.

Ele diz também que, caso precisasse recomendá-lo, alertaria outras empresas sobre a questão da altura dos trabalhadores, pois para cada operador, para cada pessoa com altura diferente era um exoesqueleto diferente. Esse fator é relevante, uma vez que aborda o tema de adaptarmos o trabalho ao trabalhador e não o trabalhador ao trabalho. Esse é um bordão da ergonomia da atividade que se aplica em diversos âmbitos do ambiente laboral, desde a interação do operador com as interfaces do posto de trabalho até a sua interação com novos equipamentos e inovações. Portanto, não é certo força-lo a se adaptar aos exoesqueletos. A verbalização a seguir expõe o ponto de vista do entrevistado sobre o tema.

– “Na época a gente comprou os tamanhos P, M e G, porquê há diferença de pessoa para pessoa. E o tamanho do exoesqueleto tem que se adaptar a pessoa, pois acaba influenciando também na altura que ela fica do chão. Às vezes o tamanho dá certo em uma pessoa alta, só que quando ela está sentada continua mais alta que a produção (Informação verbal)”.

Seção G – Prescrito x Real

Agora em outra sessão, o participante foi questionado sobre as diferenças do que foi prometido pelo fornecedor e o que foi entregue e se eles deixaram claro o propósito da tecnologia.

Sua resposta foi que, os fornecedores deixaram claro para que os exoesqueletos industriais servissem, fazendo uma boa revisão e entrega técnica de seu equipamento. Na verbalização a seguir, pode-se notar que o entrevistado diz que o objetivo final dos exoesqueletos, por sua compreensão e através do que o foi explicado pelo fornecedor, era melhorar a ergonomia dos processos de forma rápida. Esse é outro fator de discussão relevante, uma vez que se chega à conclusão que o exoesqueleto pode resolver um problema ergonômico da empresa de forma rápida, criando uma expectativa ilusória em quem comprou a tecnologia. Tal fator é relevante, uma vez que se evidencia o quanto a etapa de análise do trabalho pode ser ignorada afim de se obter um resultado rápido.

– “Na época que a gente fez aquela viagem que eu comentei para o exterior, o fornecedor estava com a gente e explicou como funcionava, a funcionalidade dele, então ficou bem claro sim o objetivo, que no final das contas era tentar, de forma rápida, melhorar a ergonomia dos processos (Informação verbal)”.

Em relação à clareza sobre como implementar o exoesqueleto, o entrevistado diz que o fornecedor também deixou claro o que deveria ser feito, mas que a empresa também estava preparada para o recebimento da tecnologia, uma vez que faziam treinamentos internos de operadores que iriam usá-lo e também já possuíam um *roadmap* que servia para qualquer implementação e tinha o intuito de evitar falhas de implementação por conta de falta de planejamento. O *roadmap* é um plano estratégico que define uma meta ou resultado desejado e inclui as principais etapas ou marcos necessários para alcançá-lo. A verbalização a seguir evidencia esse processo:

– “Para essa implementação, assim como para outras que fazíamos na empresa, a gente tinha um procedimento de treinar os operadores que iam usar, explicar, envolver o pessoal da ergonomia, o departamento de ergonomia, pessoal de segurança do trabalho, etc. Então existia um procedimento que servia para qualquer implementação e tinha o intuito de preparar tudo isso para

não gerar falhas de implementação por conta de falta de planejamento. Não deu certo, porque, realmente, ele não foi bom e foi substituído pelo banco, que era melhor (Informação verbal)”.

Segundo o entrevistado, o processo de treinamento foi desafiador, pois tiveram que desenvolver essa capacitação baseada no que acreditavam conhecer sobre o produto. Ele foi o responsável por coordenar os testes com os exoesqueletos, analisar os postos de trabalho e posteriormente desenvolver um treinamento para os times envolvidos. Para estruturar esse treinamento, o entrevistado se baseou em informações prévias apresentadas pelos fornecedores, em dados coletados nas análises prévias e no *roadmap* de implementação estabelecido internamente a empresa. Uma vez estruturado, esse treinamento foi passado para as equipes do setor de ergonomia, segurança do trabalho e para os operadores, mas diz que sentiu falta de um acompanhamento próximo do fornecedor, conforme dito a seguir.

- “Antes de fazer o treinamento a gente usou, testou, viu tudo que podia acontecer com ele, então nós mesmos fizemos um treinamento, pegamos informações do fornecedor e depois passamos para os operadores e equipe o que julgamos ser importante (Informação verbal)”.

Por fim, o entrevistado conclui que sua experiência com os exoesqueletos passivos para membros inferiores, ou “cadeiras sem cadeiras” foi ruim, e que para certos processos do setor automobilístico essa tecnologia não foi efetiva e não entregou, para o bem-estar do trabalhador, para a ergonomia e produtividade, os resultados esperados. Ele acredita que antes de uma empresa realizar maiores investimentos em tecnologia, devem estudar opções mais simples, baratas e eficazes, como foi o caso do banquinho criado pela empresa para resolver essa questão. Além disso devem situar toda a empresa sobre o que é a tecnologia, através de treinamentos, de forma que ela se torne familiar a aquele ambiente corporativo.

Por último, ressalta que os testes realizados foram apenas com exoesqueletos passivos para membros inferiores, e não com os outros tipos de exoesqueletos passivos, e por conta disso, não se pode generalizar a conclusão de sua experiência como verdade absoluta.

A figura 23 a seguir ilustra as respostas do entrevistado 2:

Figura 23. Síntese das respostas do entrevistado 2

| <p>EMPRESA A</p> <p>Setor automotivo</p> <p>Entrevistado 2</p> | <p>Seção A Sobre o Entrevistado</p> | <p>Seção B Experiência com os Exoesqueletos</p> | <p>Seção C Indústria 4.0 e Ergonomia</p> | <p>Seção D Exoesqueletos x Empresa</p> | <p>Seção E Exoesqueletos x Trabalhador</p> | <p>Seção F Situação atual da tecnologia na empresa</p> | <p>Seção G Prescrito x Real</p> | <p>Contribuições</p> |
|---|---|---|---|---|---|---|--|---|
| | <p>Analista de Processos</p> <ul style="list-style-type: none"> Era responsável por uma parte da linha de montagem tinha 8 anos de empresa e nesse período foi responsável por setores de produção, produtividade, melhoria de processos, eliminação de desperdício, otimização e qualidade. | <ul style="list-style-type: none"> Passivos de membros inferiores Tentaram a implementação da tecnologia em um processo de montagem de acessórios em motores, pois tinham montagens que eram feitas em pé e outras sentado. Ele não fez a associação dos exoesqueletos como uma tecnologia 4.0, mas diz que poderia ser uma tecnologia que possibilita a conectividade | <ul style="list-style-type: none"> Para ele Indústria 4.0 é a integração de tecnologia que permita a conectividade entre máquinas junto ao processo no chão de fábrica, para poder otimizar e melhorar os processos e equipamentos, proporcionando a evolução da produção. Para ele indústria 4.0 e ergonomia se relacionam, pois essa nova era pode ajudar, por exemplo na automatização dos sistemas de rastreabilidade dos turnos dos trabalhadores, tronando o processo menos arcaico e mais fácil para todos os envolvidos | <ul style="list-style-type: none"> Ouviu falar sobre exoesqueletos pela primeira vez em uma viagem em treinamento para a Coreia Vantagens - possibilidade de alternar posturas em pé e sentado Desvantagens - demora para a colocação e ajuste do exoesqueleto nos trabalhadores, o que atrapalhava no job rotation, o risco de desequilíbrio gerado pelo mal ajuste do exoesqueleto no corpo do trabalhador, restrição de mobilidade e o desconforto térmico Criaram um banco com rodinha ajustável e foi uma opção melhor | <p>Compraram os exoesqueletos para:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reduzir o índice de lesão dos trabalhadores Melhorar bem-estar dos funcionários Feedback trabalhadores - insatisfeitos | <ul style="list-style-type: none"> Inutilizado Não recomenda o exoesqueleto passivo de membros inferiores, pois não mostraram benefícios maiores do que a utilização de um banco adaptável, além de piorarem o bem-estar percebido dos trabalhadores em alguns postos de trabalho. Outro fator relevante é o alto valor de compra do equipamento, quando comparado aos benefícios que ele proporciona Se considera capacitado a ensinar sobre a tecnologia | <ul style="list-style-type: none"> Fornecedores deixaram claro para os Gestores da Empresa a função dos exoesqueletos, fazendo uma boa revisão e entrega técnica de seu equipamento. Fornecedor deixou claro como implementar, mas não acompanhou o processo de perto Ja tinham um roadmap de implementação de novas tecnologias na empresa Desenvolveram um treinamento da equipe baseado no que acreditavam conhecer do produto | <p>O entrevistado conclui que sua experiência com os exoesqueletos passivos para membros inferiores, ou "cadeiras sem cadeiras" foi ruim, e que para certos processos do setor automobilístico essa tecnologia não foi efetiva e não entregou, para o bem-estar do trabalhador, para a ergonomia e produtividade, os resultados esperados. Ele acredita que antes de uma empresa realizar maiores investimentos em tecnologia, devem estudar opções mais simples, baratas e eficazes, como foi o caso do banquinho criado pela empresa para resolver essa questão. Além disso devem situar toda a empresa sobre o que é a tecnologia, através de treinamentos, de forma que ela se torne familiar a aquele ambiente corporativo</p> |

Fonte – Autor

3.2.2. Empresa B

A empresa do segundo caso é também do setor automotivo, e seus processos internos são bem estabelecidos, o que facilita a implementação de novas tecnologias e inovação. A empresa busca sempre investir no desenvolvimento de novos processos, produtos, novas tecnologias, qualidade e capacitação da engenharia para executar projetos, internos e de produto, cada vez mais ousados, inovadores e seguros para o trabalhador/ cliente e o meio ambiente. Por isso, a cultura da organização é direcionada para a melhoria contínua, inovação e tem a ergonomia como um dos pilares de seus processos internos.

O caso apresentado a seguir é de um funcionário da empresa que relata sua opinião pessoal e experiência de implementação com os exoesqueletos industriais, mas são opiniões desvinculadas a uma representação da organização.

Entrevistado 3

Seção A e B – Sobre o Entrevistado e Experiência com os Exoesqueletos

O entrevistado 3 é também Analista de Ergonomia da empresa e já teve experiências com exoesqueletos passivos, tanto de membros inferiores, como de membros superiores e de tronco, acompanhando e analisando sua implementação, de forma próxima, em diversas áreas da indústria automotiva.

No início da entrevista ele relata o conhecimento técnico que tem sobre as gerações de exoesqueletos passivos de membros inferiores, superiores e de tronco, bem como o tipo de material que cada um deles é confeccionado e relata os benefícios que essas mudanças de geração do produto trouxeram para o mercado, conforme verbalizado a seguir.

- “A gente tem hoje no Brasil equipamentos de primeira e segunda geração e estamos caminhando para os equipamentos de terceira geração. A diferença entre esses equipamentos é que os de primeira geração são mais robustos, mais metálicos, com peso agregado maior e com menos mobilidade, então a gente vê equipamentos para coluna de primeira geração com aproximadamente 6 kg, os de ombro com aproximadamente 5 kg e os de membro inferior com aproximadamente 7 kg, 3 em cada perna. Então esses são as primeiras linhas. Já os de segunda geração são

equipamentos de uma linha com metais mais nobres, no sentido de mais leves, em alumínio Náutico, fibra de carbono, esse tipo de coisa. Observa-se que esses equipamentos tem maior flexibilidade e maior adaptabilidade aos processos (Informação verbal)”.

- “Além disso, o que dá para falar é que os exoesqueletos para coluna tem evoluído muito e com muita rapidez. Já trabalhei com equipamentos espanhóis, americanos, italianos e existem empresas no Brasil também desenvolvendo. Todos esses equipamentos envolvem uma velocidade grande de adaptação, e os princípios de funcionamento desses equipamentos são os mesmos, que é a retirada do esforço da coluna transferindo para região da musculatura de vastos na perna¹ (Informação verbal)”.

- “O que eu posso te falar também é que o exoesqueleto para membro superior é um grande desafio, pois eu ainda não me deparei com modelos desse equipamento que sejam funcionais, confortáveis. Eu vejo um esforço gigantesco das corporações em fazer esses equipamentos se enquadrarem dentro da indústria, envolvendo muita gente competente trabalhando nisso, dentro e fora do país. Tem empresas que são líderes de mercado em órteses e próteses que suportam os ombros, mas a gente ainda não tem um equipamento totalmente adequado para o cenário da indústria que a gente vê, porque estamos falando de uma articulação de ombro que é a articulação de maior amplitude que você tem no corpo, com graus de amplitude muito grandes em todas as os planos, então se você não partir para um equipamento muito funcional, ele acaba incomodando a longo prazo. Então, a gente vê que os equipamentos melhoraram, mas nesse momento eu ainda não vejo para ombro ou para cintura escapular², um equipamento que seja totalmente funcional (Informação verbal)”.

Seção C – Indústria 4.0 e Ergonomia

Ele, que é fisioterapeuta de formação, acredita que a indústria 4.0 é uma área que envolve sistemas autônomos auto monitoráveis, sistemas com automanutenção e a questão da conectividade. Um exemplo dado por ele é o de máquinas que fazem a leitura constante das suas condições de trabalho e quando estão em sobre aquecimento, fazem uma comparação da

¹ Vastos da perna: região do corpo conhecida popularmente como quadríceps, ou, parte superior da coxa.

² Cintura escapular: é a região do corpo que enquadra as escapulas e clavículas.

temperatura atual com os dados que estão em seu histórico, sinalizando outra máquina para vir dar manutenção. Para ele essa é a indústria 4.0.

- “Quando a gente fala de indústria 4.0 estamos nos referindo a sistemas autônomos auto monitoráveis, sistemas com automanutenção e tem a questão da conectividade. É mais ou menos o seguinte, você tem uma máquina, ela faz a leitura constante das condições de trabalho dela e quando, por exemplo, ela está em sobre aquecimento em alguma parte, ela faz uma comparação desse aquecimento com os dados que estão em seu histórico e da um *start* para outra máquina vir dar manutenção. Essa é a indústria 4.0, o exoesqueleto não se enquadra nisso e sim como uma inovação, ninguém pode tirar essa característica dele (Informação verbal)”.

Seguido a esse tema, ele evidencia que os exoesqueletos devem ser desvinculados à indústria 4.0, mas devem ser considerados uma inovação. Isso se deve ao fato de os exoesqueletos passivos não terem relação com os pilares da indústria 4.0, mas serem uma tecnologia nova que surgiu no mercado e ainda está sendo estudada afim de entender o seu melhor uso.

Um ponto de discussão relevante sobre esse tema é que, muitas inovações podem não ser 4.0, mas algumas tecnologias antigas podem. Esse argumento busca evidenciar o fato de que uma tecnologia não necessariamente precisa ser uma inovação para ser considerada 4.0. Conforme exposto no referencial teórico do presente estudo, a questão da conectividade é o que dá vida a indústria 4.0.

Por isso, na verbalização a seguir, o entrevistado relata que alguns fornecedores buscam colocar acelerômetros para captar movimentos do trabalhador, mas ele não julga necessário sendo que consegue acessar essas informações através da análise ergonômica do trabalho (AET). É uma tentativa desnecessária de colocar a conectividade em um produto para poder vincula-lo à indústria 4.0 e potencializar vendas, porém não é considerada relevante em uma visão macro da implementação.

- “A gente até já viu alguns exoesqueletos que os fornecedores colocaram acelerômetro para tentar captar dados de movimento, mas não faz sentido frente a aplicação do equipamento. Um tempo atrás, tive a oportunidade de testa-lo para saber quantos movimentos o empregado faz por dia, quais são os ângulos de movimento dele, mas eu já sei quantos movimentos e o ângulo de

movimento deles porque eu já consigo acessar isso através da análise ergonômica do trabalho (AET). É simples e não vejo uma necessidade tão grande disso, na verdade o que é importante mesmo seria o monitoramento preventivo constante, pois garante que os processos não quebrem e mantém a sustentabilidade dos processos produtivos (Informação verbal)”.

Seção D – Tecnologias (Exoesqueletos) x Empresa

Em relação às vantagens e desvantagens do equipamento para a empresa, o entrevistado descreve que as desvantagens podem ser maiores que as vantagens, mas isso depende do nível de compreensão que se tem sobre o contexto onde ele será implementado e a respeito das etapas de análise, prévias a implementação. É nesse momento que ele faz uma crítica aos fornecedores das empresas e diz que a etapa de entrada com esse equipamento no chão de fábrica é um dos passos mais importantes e vai influenciar diretamente no resultado da implementação, mas já viu alguns fornecedores pulando essas etapas. Nos casos em que não foram seguidas, as desvantagens foram inúmeras. Ele exemplifica isso através de sua experiência adquirida na prática.

Um de seus exemplos é que, como o equipamento é uma estrutura que está próxima ao corpo, por mais que ela esteja bem ajustada, próxima do centro de massa, tem-se uma condição de contato dessa estrutura com o uniforme, com a pele do trabalhador e isso pode gerar um desconforto térmico.

Outro fator é a condição referente ao tempo de colocação e retirada dos exoesqueletos. Nesse momento, mais uma vez, pode-se ver um relato sobre o tempo estimado de colocação do equipamento dentro da linha de montagem, o que vai contra o que foi relatado no site dos fornecedores, que dizem levar apenas 30 segundos. Aqui contabiliza-se o tempo das variabilidades que ocorrem na atividade real do trabalho, levando em conta fatores como conversas, distrações, ou ritmo dos trabalhadores. A verbalização a seguir fortalece esse argumento.

-“Isso precisa ser contabilizado na atividade que o operador vai realizar, se ele inicia a jornada de trabalho em qualquer empresa às 8 horas, ele não vai estar vestido com o equipamento às 8 horas e sim às 8:05. Se ele não for bem treinado e se estiver em uma linha de esteira independente, esses 5 minutos podem representar uma fatia pequena da sua produção que deixou

de ser feita. Então tem que ter alguém às 8 horas para assumir a atividade dessa pessoa para que as 8:05 ela inicie a jornada vestindo o equipamento (Informação verbal)”.

Então, para ele, esse ajuste de quem vai fazer o trabalho até que o operador esteja disponível para começar tem que ser levado em conta, mas não acontece com frequência.

Ainda nesse tema sobre alocação de tarefas para os operadores com os exoesqueletos, o que foi observado pelo entrevistado em sua experiência foi a importância do *job rotation* entre os operadores. A partir disso, esses funcionários podem trocar de atividade entre eles a cada intervalo de tempo, garantindo uma condição ergonômica que reduza o risco de adoecimento.

Visto que o *job rotation* é importante, ele notou que ao entrar com os exoesqueletos no posto de trabalho a tendência era parar com essa troca de postos. Uma possível causa da interrupção desse processo pode ser a diferença entre biótipos de trabalhadores que irão vestir o mesmo equipamento e também a questão do tempo para vesti-lo. Esse processo pode representar um aumento na carga cognitiva sobre o trabalhador, pois exige que ele automatize esse novo processo, e pode desanimá-lo, pois conseguir sincronizar o *job rotation* com outro operador já havia sido uma conquista, mas poderia ser perdido em meio a nova implementação. A verbalização a seguir evidencia esse argumento.

- “Tem também o revezamento onde o funcionário pode fazer uma atividade de risco ergonômico maior e outro uma atividade com risco ergonômico menor. A partir disso esses funcionários podem trocar de atividade entre eles a cada x tempo, garantindo uma condição ergonômica que reduza o risco de adoecimento. Essa é outra forma, então automaticamente ao entrar com o exoesqueleto a tendência é parar com esse revezamento que é uma conquista dos trabalhadores, então eu já vi organizações que pegam biótipos parecidos e conseguem resolver o problema (Informação verbal)”.

Porém, como existem partes do equipamento que tem contato direto com o corpo, sentiu-se necessidade de substituir esses componentes a cada uso por uma questão de higiene. O entrevistado já viu casos de empresas em que cada operador tem o seu kit e as trocas são realizadas próximas ao horário de almoço, não interrompendo o processo.

– “Nesses casos os operadores vão para o almoço e revezam os postos quando voltam a trabalhar, mas é uma solução mais cara, pois exige a compra de mais exoesqueletos (Informação verbal)”.

Outra desvantagem é em relação a manutenção, pois hoje no Brasil são poucas empresas que representam o equipamento. No primeiro momento houve um aumento de compras, mas agora está parado. Na opinião dele, por aplicação de equipamentos em locais errados e por não levarem em consideração os fatores citados acima.

– “Por ser um mercado que não é desenvolvido e que tem poucos representantes de manutenção, em alguns casos se torna necessário fazer a manutenção fora do Brasil, o que é uma situação bem complexa que envolve envio do equipamento e todo o processo de alfândega. Quando a manutenção não é feita no exterior, o representante terá que importar essa peça para que seja possível dar manutenção (Informação verbal)”.

Às vezes é interessante adquirir reposições de peças que quebram mais facilmente. A recomendação é que se compre essas peças com um pouco mais de volume para que seja possível fazer as manutenções. Em seguida recomenda-se treinar a equipe da engenharia de manutenção, de modo a desenvolver a autonomia dentro das organizações, não tornando necessário enviar o equipamento para o exterior. A fala a seguir segue esse raciocínio.

- “É importante adquirir peças com maior fragilidade, lógico que os equipamentos com os quais tive experiência não quebram com facilidade, mas existem peças que com o uso contínuo se tornam mais vulneráveis, frágeis e vão precisar ser substituídas constantemente. A minha recomendação é que se compre essas peças com um pouco mais de volume para que seja possível fazer as manutenções e que ao comprar um equipamento desse a engenharia de manutenção seja treinada para que consiga fazer a manutenção autônoma dentro das organizações e que não seja necessário enviar para o exterior. Minha recomendação é que quem compra o equipamento passe por um curso de como dar manutenções desse tipo (Informação verbal)”.

Como regra geral, o entrevistado observou que os equipamentos são funcionais em qualquer caso na indústria em que o trabalhador exerce mais de um minuto de contração estática. Para ele, o que faz o equipamento cair em desuso é coloca-los em postos de trabalho dinâmicos e que não

se adaptam as características. Observou-se que quando tem menos de um minuto de contração estática, o movimento é praticamente perdido e o apoio que o exoesqueleto tem é muito superficial.

Seção E – Tecnologias (Exoesqueletos) x Trabalhador

Agora, se tratando da experiência do entrevistado com os diversos tipos de exoesqueletos, ele diz que o grande *case* dessa inovação não é na área industrial. Mais de 70% desses equipamentos estão voltados para área médica e tem foco na reabilitação e não em uma pessoa saudável que está em uma linha de produção. Ele relata que a entrada desse equipamento na linha de produção vai um pouco contra o princípio da ergonomia, de adaptar o posto à pessoa.

Um exemplo dado por ele é: - “se temos uma atividade de baixo do carro, o ideal seria girar o carro e não colocar a pessoa com o braço elevado vestindo o exoesqueleto embaixo dele. Tem que adaptar o posto para todos e não sujeitar a pessoa a uma condição de se adaptar a ele (Informação verbal)”.

A colocação desse equipamento em pessoas saudáveis é questionável, pois no caso de pessoas com deficiência existe uma alteração, seja cognitiva seja músculo-esquelética, seja de propriocepção, entre outros, que poderia justificar o uso. Para colocar um equipamento em uma pessoa saudável é extremamente importante uma avaliação biomecânica prévia, porque através dela você consegue saber se aquela pessoa que vai usar o equipamento tem alguma frouxidão ligamentar, síndrome de dominância muscular, algum encurtamento, alguma alteração morfológica que irá interferir.

Ele usa como exemplo um funcionário que tem escoliose com cinco graus, o que é completamente normal. O uso do exoesqueleto pode desencadear uma dor nele porque o equipamento não é voltado para terapia. – “O equipamento não corrige postura, não é feito para mudar biomecânica, pelo contrário, quando se tem uma pessoa com uma alteração pequena deve-se ajustar o equipamento para aquela alteração, da mesma forma que adaptamos o posto de trabalho ao trabalhador e não o inverso. Se não há um conhecimento das alterações do indivíduo, não se

deve ajustar o equipamento, pois ele vai trabalhar competindo com aquela musculatura que está em sobrecarga, isso por si só já vai gerar um quadro algíco³ nele (Informação verbal)”.

Por terem trabalhado na empresa com a avaliação dos postos de trabalho previamente a implementação da tecnologia, o entrevistado diz que o feedback dos trabalhadores foi positivo em postos de trabalho que tiveram a tecnologia implementada posteriormente a essa avaliação. Para ele, se não houver uma investigação dos postos de trabalho a implementação dos exoesqueletos está fadada ao fracasso, pois conclusões das análises devem indicar o melhor caminho para a sua implementação. Nos casos em que foram desconsideradas as avaliações prévias, o feedback dos trabalhadores foi negativo. Então, segundo ele, o sucesso da aplicação dos exoesqueletos é muito relativo e vai depender da situação e contexto envolvidos. A verbalização a seguir evidencia algumas conclusões advindas de análises feitas com os exoesqueletos pelo entrevistado e equipes da empresa.

- “Como via de regra geral, a gente observou que os equipamentos são funcionais em qualquer *Case* da indústria em que o trabalhador exerce mais de um minuto de contração estática. Isso responde um pouco a sua pergunta lá do início, poxa, por que a gente vê que esses equipamentos têm uma vida útil muito curta? Por isso, porque muitas das vezes são colocados em postos de trabalho dinâmicos e que não se adaptam as características. A gente vê que quando você tem menos de um minuto de contração estática, o movimento é praticamente perdido e o apoio que o exoesqueleto tem é muito superficial, então esse é um ponto interessante a ser comentado (Informação verbal)”.

Seção F – Situação Atual da tecnologia 4.0 na empresa

O entrevistado afirma que alguns exoesqueletos não são mais utilizados em alguns postos de trabalho da empresa, pois em momentos iniciais foram muito bem vistos por seus usuários/operadores, porém após certo período de tempo, não foram mais notados como soluções interessantes. Para ele, era um entusiasmo momentâneo dos funcionários por estarem lidando com uma inovação, mas sentiu que essa empolgação se esmaeceu com o tempo.

³ Quadro algíco: situação em que o paciente/ pessoa sente dores.

Entretanto, observou-se que é preciso um período de análise de aproximadamente 15 dias. Períodos menores que esse são perigosos, pois os resultados são muito positivos ou muito negativos. Esse é o intervalo que representa o tempo de adaptação neuromuscular, então o empregado só vai ter uma percepção boa desse tipo de equipamento na segunda para terceira semana. Por isso, o entrevistado diz que após esse período, observou-se que a tecnologia caía em desuso. O relato a seguir evidencia esse argumento.

– “A primeira semana é só entusiasmo, onde o trabalhador normalmente fala que gostou, que o equipamento é muito favorável, mas que na verdade ele só está empolgado por estar testando uma inovação, que é o exoesqueleto (Informação verbal)”.

- “É uma boa prática para quem trabalha com este tipo de equipamento realizar avaliação durante 15 dias. O início, meio e final da jornada são três momentos de avaliação, porque em alguns pontos o empregado pode chegar com uma dor ou desconforto que no final do dia vai aparecer como uma coisa mais séria. Na verdade, não é o equipamento a causa, ali ele só está contribuindo para o fator que já existia (Informação verbal)”.

Em seguida o entrevistado foi questionado se recomendaria essa tecnologia para outras unidades da empresa ou empresas similares, e ele diz que o exoesqueleto é a última coisa que se deve colocar no posto de trabalho. Para ele, as soluções mais simples devem ser levantadas antes de qualquer compra de tecnologia. Visto que é um investimento considerável, deve-se avaliar o custo benefício do que se almeja implementar. Na concepção dele, o exoesqueleto pode ser caro e não entregar os mesmos benefícios ao bem-estar do trabalhador que, por exemplo, um banquinho entrega. A verbalização a seguir evidencia esse argumento.

- “O exoesqueleto é a última coisa que se deve colocar no posto de trabalho, então se você está sentado numa cadeira e me falar que está querendo comprar um exoesqueleto para poder sentar, trabalhar, andar, usar como um assento na hora de almoçar eu vou falar para você não fazer isso. Primeira coisa, se você pode substituir o exoesqueleto por uma coisa simples, como uma cadeira, eu vou dizer para fazer isso, porque a cadeira é muito mais simples e você não vai precisar da participação direta do trabalhador, não vai precisar da própria concepção do entendimento dele, haja vista que ele já tem que levar em consideração a atividade do trabalho que ele já está concentrado (Informação verbal)”.

Um argumento questionável na verbalização acima é referente ao relato de a cadeira/banquinho não exigir do trabalhador a sua participação direta ou a concepção de seu entendimento. Deve-se refletir a respeito desse argumento, uma vez que a cadeira irá exigir a participação e concepção do entendimento do trabalhador, porém, por ser um objeto presente no dia-a-dia desse funcionário, gera menos estranhamento e se adapta mais rápido ao trabalhador. Além disso, não afeta a propriocepção de seu usuário, permite maior mobilidade em planos articulares e possui custo reduzido, quando comparado ao investimento em exoesqueletos.

Outra reflexão diz respeito a aplicação do equipamento dentro do processo de empresas onde o investimento é mal direcionado. No relato a seguir, evidencia-se a questão dos modismos gerenciais, levantada anteriormente em referencial teórico. Nota-se que a análise do entrevistado o levou a concluir que muitas empresas compram novas tecnologias, como os exoesqueletos, para tentar resolver problemas ergonômicos e organizacionais relevantes.

Ou seja, tentam seguir as tendências tecnológicas e ignoram problemas importantes que poderiam ser solucionados através de análises ergonômicas do trabalho (AET). O papel da ergonomia aqui é o de conscientizar as equipes da empresa acerca dos reais problemas identificados e a partir das análises reunir forças para encontrar uma solução. A visão tecnocrata de algumas empresas acaba tornando a tecnologia um ponto de partida para soluções, o que força os envolvidos a se adaptarem a ela.

– “Eu já tive contato com algumas empresas onde você observa que existe o exoesqueleto no chão de fábrica, mas falta toda uma organização do trabalho ao redor dele. Em algumas foram feitos investimentos no valor de 40, 50, 60 mil reais dependendo do equipamento. Não é a falta do exoesqueleto em si, mas sim a falta de uma plataforma pantográfica, de uma bancada, de um acento, uma esteira para organizar, etc. O equipamento é na verdade um alvo de destaque, mas o que precisa é trabalhar na operação em si. A gente também viu situações em que o investimento era mal direcionado no sentido de tentar solucionar o problema ergonômico com a ilusão de que o equipamento ia solucionar todos os problemas que o posto de trabalho tinha (Informação verbal)”.

Um outro ponto de atenção evidenciado pelo entrevistado antes que empresas adquiram o exoesqueleto, é atentar-se ao fato de que o equipamento não torna o trabalhador mais resistente ou permite que ele carregue cargas maiores do que as recomendadas por lei. Segundo ele, muitas

empresas dão a liberdade para os operadores levantarem cargas maiores que as permitidas por estarem vestindo os exoesqueletos, mas isso se deve ao fato de as pessoas não conhecerem o propósito real do produto, o que as leva a usá-lo em situações desfavoráveis.

- “O exoesqueleto não transforma o trabalhador em super-homem, então a gente viu no início situações onde é permitido o trabalhador carregar um peso bem acima do que estava preconizado, porque agora ele está com esse exoesqueleto. A gente até viu situações de aplicação errada, onde a pessoa tem um risco, está com o vetor de força na coluna, exercendo uma alavanca interpotente e estava utilizando o exoesqueleto para membros superiores. Então o tema estava tão fantasiado que agora esqueceram de entender que o exoesqueleto, nessas situações, não estava sendo aplicado para o lugar certo, mas estava, inclusive, piorando a condição. Eu já vi o empregado que pega um peso de 10 Kg, normalmente, e se ele colocava o exoesqueleto pegava um peso de 20 kg. Por mais que você tenha o equipamento de membro superior que sustente os braços, toda a força está na coluna, na sacro-ilíaca⁴, então, de toda forma, você vai ter outra região sofrendo (Informação verbal)”.

Devido a isso, o entrevistado ressalta a importância de situar todos os membros das equipes da empresa sobre a nova tecnologia e procurar buscar informações com fornecedores sobre melhores práticas de utilização dos exoesqueletos, para que assim a tecnologia possa ser bem utilizada. Segundo ele, ela não é feita para operar milagres, mas pode se encaixar em situações em que nenhuma outra solução foi encontrada. Esse é o papel do exoesqueleto, por isso estar ciente das recomendações acima é essencial antes de pensar nesse investimento, pois as pessoas não entenderem o propósito do produto leva a tecnologia ao desuso.

Por fim, ele conclui que os exoesqueletos não devem ser descartados como opção de compra, mas devem ser usados em casos que não existe solução viável para a resolução de problemas. Desta forma as empresas estão comprando as tecnologias para cumprir um objetivo para o qual eles não foram feitos.

A figura 24 a seguir ilustra as respostas do entrevistado 3:

⁴ Sacro-ilíaca: maior articulação do nosso corpo e conecta a parte inferior (Base) da nossa coluna vertebral, ou seja, a região do Sacro com o maior osso da bacia, o Ilíaco.

Figura 24. Síntese das respostas do entrevistado 3

| <p>EMPRESA B</p> <p>Setor automotivo</p> <p>Entrevistado 3</p> | <p>Seção A Sobre o Entrevistado</p> | <p>Seção B Experiência com os Exoesqueletos</p> | <p>Seção C Indústria 4.0 e Ergonomia</p> | <p>Seção D Exoesqueletos x Empresa</p> | <p>Seção E Exoesqueletos x Trabalhador</p> | <p>Seção F Situação atual da tecnologia na empresa</p> | <p>Contribuições</p> |
|---|---|---|--|---|--|---|--|
| | <p>Coordenador de Ergonomia América do Sul</p> <ul style="list-style-type: none"> É responsável pela implantação de tecnologias da indústria 4.0. | <ul style="list-style-type: none"> Passivos de membros inferiores, de membros superiores e de tronco Ja trabalhou com exoesqueletos de duas gerações, e diz que o que muda é o material de composição e o peso do equipamento. Hoje estão partindo para equipamentos de terceira geração. Exoesqueletos para tronco tem evoluído muito, porém os de membros superior são um desafio para a indústria, pois restringem a amplitude de movimento do ombro, que é a articulação de maior amplitude do corpo | <ul style="list-style-type: none"> Indústria 4.0 é uma área que envolve sistemas autônomos auto monitoráveis, sistemas com automanutenção e a questão da conectividade. Indústria 4.0 e a Ergonomia tem uma relação próxima e podem se complementar conciliando tecnologia e o ser humano Os exoesqueletos devem ser desvinculados à indústria 4.0, mas devem ser considerados uma inovação | <ul style="list-style-type: none"> Vantagens e Desvantagens dependem do nível de compreensão que se tem sobre o contexto onde ele será implementado e a respeito das etapas de análise, prévias a implementação. A etapa de entrada do equipamento no chão de fábrica é uma das etapas mais importantes e vai influenciar diretamente no resultado da implementação, mas já viu alguns fornecedores queimando essas etapas. Nos casos em que não foram seguidas, as desvantagens foram inúmeras Vantagens - Estabilização postural. Desvantagens - Desconforto térmico, tempo elevado para vestir o equipamento, atrapalhar na rotação de postos de trabalho entre os operadores, necessidade de troca de partes que ficam em contato com o corpo, manutenção cara e demorada | <ul style="list-style-type: none"> A colocação desse equipamento em pessoas saudáveis é questionável, pois no caso de pessoas com deficiência existe uma alteração, seja cognitiva seja músculo-esquelética, seja de propriocepção, entre outros, que poderia justificar o uso. Para colocar um equipamento em uma pessoa saudável é extremamente importante uma avaliação biomecânica prévia Feedback trabalhadores - Por terem trabalhado na empresa com a avaliação dos postos de trabalho previamente a implementação da tecnologia, o entrevistado diz que o feedback dos trabalhadores foi positivo. Porém, depende muita da situação e contexto envolvido. | <ul style="list-style-type: none"> Utilizado em alguns postos e inutilizado em outros Chegaram à conclusão de que por ser uma inovação, tem todo o glamour e entusiasmo por trás da tecnologia. Recomenda um período de análise de aproximadamente 15 dias antes da implementação. O equipamento não resolve todos os problemas ergonômicos da empresa por si só O exoesqueleto é a última coisa que se deve colocar no posto de trabalho. A cadeira é muito mais acessível e não vai exigir a participação direta do trabalhador, visto que ele já tem que levar em consideração a atividade do trabalho que está realizando. | <p>O entrevistado conclui que é importante situar todos os membros das equipes da empresa sobre a nova tecnologia e procurar buscar informações com fornecedores sobre melhores práticas de utilização dos exoesqueletos, para que assim a tecnologia possa ser bem utilizada. Ela não é feita para operar milagres, mas pode se encaixar em situações em que nenhuma outra solução foi encontrada. Esse é o papel do exoesqueleto, por isso estar ciente dessas dicas é essencial antes de pensar nesse investimento, pois as pessoas não entenderem o propósito do produto leva a tecnologia ao desuso. Os exoesqueletos não devem ser descartados como opção de compra, mas devem ser usados em casos que não existe solução viável para a resolução de problemas. Desta forma as empresas estão comprando as tecnologias para cumprir um objetivo para o qual eles não foram feitos.</p> |

Fonte – Autor

No caso B acima, o entrevistado 3 não quis responder a seção G e não sentiu a necessidade de adicionar mais informações na seção H.

3.2.3. Empresa C

A empresa do terceiro caso é um multinacional do setor de manufatura de produtos de grande porte, e considerada a terceira maior fabricante do seu ramo, tendo unidades em 27 países. A unidade de análise é localizada no interior do estado de São Paulo.

Seus processos internos são bem delimitados, o que facilita a implementação de novas tecnologias e inovação. É uma empresa que tem uma visão clara de crescimento e alto desempenho, focando em inovação, diversificação e Meio-ambiente, Social e Governança (ESG). A maioria de seus processos internos estão voltados para o desenvolvimento de projetos inovadores, tecnológicos e seguros para seus clientes/ trabalhadores. A cultura da empresa é focada, principalmente, nas áreas de inovação, tecnologia, meio ambiente e tem um grande foco na saúde do trabalhador, possuindo um setor exclusivo voltado para Meio-ambiente, Saúde e Segurança (EHS).

Entrevistado 4

Seção A e B – Sobre o Entrevistado e Exoesqueletos

O entrevistado 4 é Engenheiro de Segurança do Trabalho e é responsável pelo time corporativo dessa empresa do setor de manufatura de produtos de grande porte. Ele tem 15 anos de empresa e também atua a 15 anos dentro da área de segurança do trabalho. Sua responsabilidade é a padronização de processos, procedimentos em âmbito global e também desenho de novos processos, como por exemplo o exoesqueleto, o software de gestão de EHS corporativo e também a parametrização de procedimentos internos.

- “Eu tenho 15 anos de empresa, 15 anos dentro da área de segurança do trabalho. Minha carreira iniciou como técnico de segurança do trabalho e hoje atuo como engenheiro de segurança local, responsável por uma das plantas do interior de São Paulo. Depois recebi o convite do nosso atual gerente para fazer parte do time corporativo, então hoje a minha responsabilidade é a padronização de processos, procedimentos em âmbito global e também desenho de novos processos, como por exemplo o exoesqueleto, o software de gestão de EHS corporativo e também a parametrização de procedimentos internos (Informação verbal)”.

Já teve experiência com o exoesqueleto passivo de membros superiores dentro da empresa e ressalta a sua eficácia na estabilização postural do operador. Diz que também já tentaram a implementação dos exoesqueletos passivos para tronco e pernas, mas que o risco de acidentes para esse tipo de equipamento na indústria de manufatura para produtos de grande porte ainda é muito alto.

– “Nós tivemos experiência com o exoesqueleto passivo de membros superiores. Ele auxilia o operador, a pessoa que está manipulando o equipamento, na estabilização postural. Para tronco e pernas nós até tentamos, porém, o risco de acidente para esse tipo de equipamento na indústria de manufatura de produtos de grande porte ainda é muito alto (Informação verbal)”.

Em sua experiência de sucesso com os exoesqueletos passivos para membro superior diz que hoje estudam a cooperação entre a realidade aumentada e o uso desses exoesqueletos em treinamentos ou simulações de utilização. – “Hoje nós estamos trabalhando com a realidade aumentada e com a utilização do exoesqueleto, buscando realizar treinamentos ou simulações nesse âmbito, almejando uma cooperação entre as duas. Ainda é um processo que está engatinhando, mas já existe um planejamento para tal implementação (Informação verbal)”.

Seção C – Indústria 4.0 e Ergonomia

Quando questionado a respeito do que ele acredita ser a indústria 4.0, ele diz que é uma era que vem para revolucionar a indústria como um todo e, principalmente, através da utilização de tecnologias de inovação. Ele acredita que ela vem como o intuito principal de integrar pessoas e tecnologias, buscando inovar, melhorar aspectos produtivos e de bem-estar do trabalhador.

- “A indústria 4.0 vem para revolucionar a indústria como um todo e, principalmente, utilizando tecnologias de inovação que podem otimizar investimentos e impulsionar a produtividade sem deixar a pessoa de lado, integrando da forma mais objetiva e tecnológica, a participação de pessoas e revolucionar, otimizar e inovar o aspecto produtivo (Informação verbal)”.

Ou seja, para ele, pode trazer benefícios para o campo da ergonomia, se tratando da interação entre máquina e processo, e máquina e pessoas. – “Acredito que a indústria 4.0 vem forte, principalmente, na questão da interação máquina e processo, máquina e pessoa. As inovações que estão chegando são realmente para ajudar a pessoa a trabalhar de uma forma mais produtiva e

também para trazer grandes benefícios ergonômicos e benefícios à saúde do trabalhador (Informação verbal)”.

Seção D – Tecnologias (Exoesqueletos) x Empresa

Em relação a experiência com a tecnologia, diz que ouviu falar sobre os exoesqueletos pela primeira vez através da empresa e do contato dos fornecedores internacionais, e que a partir desse primeiro contato resolveram iniciar o estudo do exoesqueleto em 2015, em um momento que pouco se sabia sobre ele, e que juntos a uma outra empresa do setor automobilístico, foram os pioneiros da sua implementação no Brasil. A partir desse ponto, começaram a entender melhor o seu uso. A explicação está na verbalização a seguir.

- “Nós iniciamos o estudo do primeiro exoesqueleto em 2015, então era tudo muito novo, inclusive a única empresa que estava ao mesmo tempo estudando era essa outra empresa do setor automobilístico, com um especialista, que é muito conhecido com o exoesqueleto. A partir desse ponto, nós começamos a entender melhor o seu uso. Então eu acho que o exoesqueleto no Brasil ainda está sendo estudado, evoluiu muito de 2015 para cá, mas ainda é algo que a gente precisa estudar bastante (Informação verbal)”.

Em sua vivência com os exoesqueletos para membros superiores, o entrevistado diz que os setores da empresa que, inicialmente, sentiram maior necessidade dele foram os que envolviam atividades com elevada movimentação de braço, como o setor de pintura e o de montagem. Ele diz que atualmente a empresa possui um processo de pintura praticamente todo robotizado, mas que na época foi a primeira área onde houve a aplicação e utilização do exoesqueleto.

- “Dentro da Indústria de manufatura de produtos de grande porte, nós temos uma atividade onde se trabalha com muita movimentação de braço, que é atividade de pintura. Hoje nós temos um processo de pintura praticamente robotizado, mas na época foi a primeira área onde nós aplicamos a utilização do exoesqueleto. A segunda área foi o que nós chamamos de montagem, em todas as áreas de montagem nós fizemos o estudo para aplicação (Informação verbal)”.

Segundo ele, a escolha desses postos de trabalho se deu pela análise conjunta entre os setores envolvidos no bem-estar dos trabalhadores das diversas áreas da empresa. Portanto, os

setores com maior tempo de contração sustentada do braço acima do nível da cabeça foram os escolhidos, por conta dos maiores índices de fadiga e cansaço dos trabalhadores.

– “O fator decisivo para a escolha dos postos de trabalho em que iríamos implementar os exoesqueletos foi realmente o tempo de movimentação e elevação de braços acima do nível da cabeça. Obtivemos esses dados e informações através do trabalho conjunto da área técnica com área médica (Informação verbal)”.

Para tornar a implementação da tecnologia possível, o entrevistado diz que a empresa sentiu a necessidade de refazer a cronoanálise das atividades desse setor para inserir no ciclo produtivo o tempo de vestimenta e ajustes do exoesqueleto. Nesse relato, pode-se observar mais uma vez o fator do tempo de colocação dos exoesqueletos, questões essas também abordadas pelos entrevistados dos casos anteriores. Deve-se refletir que, se o tempo de colocação do equipamento fosse de apenas 30 segundos, conforme relatado pelos fornecedores, não influenciaria de forma relevante no tempo total das atividades. – “Tivemos que refazer a nossa cronoanálise das atividades, pois tivemos que embutir dentro do ciclo produtivo o tempo de setup do exoesqueleto (Informação verbal)”.

Uma vez reestruturada a cronologia das atividades, a implementação teve início em 2015 e desde então a empresa vem estudando os exoesqueletos e hoje se consideram uma referência no uso da tecnologia. – “Primeiramente, a gente comprou alguns exoesqueletos para realizar as simulações e testes dentro da empresa. Uma vez que identificamos os benefícios dessa tecnologia para os trabalhadores em seus respectivos postos de trabalho, bolamos um plano de ação para a sua implementação definitiva nos setores. Atualmente estamos aguardando a chegada de mais equipamentos, para que possamos difundir a sua utilização nos setores já estudados na empresa (Informação verbal)”.

Por conta disso, o entrevistado diz que esse processo de mudança de atividades foi necessário para potencializar as vantagens dos exoesqueletos dentro dos processos, trazendo benefícios como o conforto para os funcionários e a diminuição no tempo de atividades, o que proporcionou o aumento da agilidade produtiva.

- “Os benefícios foram, primeiramente, o conforto, que nós medimos através de relatórios e níveis de conforto no antes e depois, o que apontou uma “favorabilidade” muito grande dos exoesqueletos naqueles setores. E também medimos o tempo de atividades, pois com a utilização do exoesqueleto nós conseguimos trazer uma rapidez na produtividade (Informação verbal)”.

Em relação as desvantagens, a única e principal para ele, foi conseguir a mudança de mentalidade dos operadores, pois ele acredita que toda vez que se inclui uma nova tecnologia no mercado e dentro de uma empresa, os seus benefícios tem que ser vendidos de forma clara e atrativa para os funcionários da empresa, caso contrário ela não irá prosperar. Porém, essa dificuldade foi contornada através de treinamentos internos com explicações e palestras mostrando os benefícios do equipamento.

- “A principal dificuldade foi ter mudança de *mindset*⁵ dos operadores, pois toda vez que a gente inclui algo diferente a gente tem que vender muito bem o benefício que esse equipamento tem. Para os operadores mais novos, mostrar os benefícios da tecnologia era mais fácil, quando comparado aos operários que estão na empresa a mais tempo. Os que tem mais tempo de casa são os que se mostram mais resistentes às inovações. Então, respondendo a primeira pergunta, a dificuldade foi a mudança de *mindset* e como foi contornada, com explicações, com palestras mostrando o benefício do equipamento (Informação verbal)”.

Seção E – Tecnologias (Exoesqueletos) x Trabalhador

Quando questionado sobre os principais motivos para terem adquirido o exoesqueleto, disse que compraram para diminuir a taxa de absenteísmo de alguns setores da empresa, para dar início a uma mudança organizacional e, principalmente, para melhorar o bem-estar dos funcionários. A partir desses objetivos, começaram os estudos para torna-los reais, e até o momento, tiveram feedbacks positivos de seus operadores sobre a experiência com os exoesqueletos para membros superiores.

Seção F – Situação Atual da tecnologia 4.0 na empresa

⁵ Mindset: Mentalidade

Segundo o entrevistado, o resultado tem sido positivo ao ponto de recomendarem essa tecnologia para outros setores da empresa, e relata que estão nessa fase no momento. - “Nós estamos na etapa de expansão para outras áreas produtivas, então para isso estamos passando por um período de adaptação do equipamento frente aos processos produtivos e frente as equipes. Eu costumo dizer que na nossa particularidade da indústria de manufatura de produtos de grande porte existem diversas empresas dentro de uma só, então nós temos, por exemplo, um centro de usinagem na mesma unidade que se tem o produto saindo em uma forma pronta, então são processos totalmente distintos. O que estamos fazendo agora é estudar esses processos distintos para a aplicação do equipamento (Informação verbal)”.

Com o conhecimento adquirido sobre a tecnologia, ele diz que recomenda que as empresas que vivem dificuldades na implementação do exoesqueleto passivo de membros superiores sigam passos essenciais de análise antes da implementação, e são eles: O envolvimento do time técnico, o estudo da atividade, a aplicação da cronoanálise para ver o tempo de elevação de braço, o estudo eletromiográfico e avaliação ergonômica.

O termo “estudo eletromiográfico” supracitado se refere a eletromiografia, um exame feito através de eletrodos que medem e avaliam a função muscular e nervosa por meio da liberação de sinais elétricos. Esse método é utilizado para aferir o tempo de ação e contração muscular, comumente usado em situações onde pacientes se queixaram de dores ou incômodos durante o movimento, podendo ser essa ação muscular ligada ao trabalho.

No contexto do relato acima, essa técnica de análise foi utilizada para investigar a forma como os exoesqueletos auxiliam no alívio da fadiga muscular, porém essa abordagem traz resultados apenas para os aspectos físicos relacionados ao trabalho, portanto deve-se considerar os dados coletados como complementares às análises feitas e não como dados decisórios para tomadas de decisão ou eventuais conclusões acerca da tecnologia.

Seção G – Prescrito x Real

Agora em outra sessão, o participante foi questionado sobre as diferenças do que foi prometido pelo fornecedor e o que foi entregue e se eles deixaram claro o propósito da tecnologia. Sua resposta foi que, os fornecedores nacionais deixaram claro para que os exoesqueletos

industriais serviam, fazendo uma boa revisão e entrega técnica de seu equipamento. Por outro lado, diz que não houve clareza por parte dos fornecedores internacionais, pois alega que percebeu um perfil mais comercial, sem muito conhecimento técnico e embasamento científico a respeito dos benefícios da tecnologia.

- “Os fornecedores nacionais deixaram claro o propósito do exoesqueleto e também fizeram uma ótima revisão e entrega técnica do equipamento antes que levássemos para a fábrica. Além de terem acompanhado de perto o processo de implementação, acatando sugestões de melhoria do equipamento feitas por nós. Já os fornecedores internacionais não deixaram claro no sentido do ponto de vista técnico, pois eles gostariam de vender o equipamento, aspecto comercial. O fornecedor nacional, além do aspecto comercial, ele também demonstrou tecnicamente através de subsídios científicos, a eficácia do equipamento (Informação verbal)”.

Por isso, diz que se não possuíssem procedimentos internos já existentes para a implementação de novas tecnologias, poderiam ter vivido problemas, pois a falta de clareza pode levar empresas a terem dificuldades nesse processo. - “Nós já temos procedimentos internos utilizados na aplicação de novos projetos, então não foi uma novidade receber o exoesqueleto, foi uma novidade do ponto de vista tecnológico, mas do ponto de vista técnico para a aplicação dos nossos estudos, não foi surpresa. Já tínhamos um *roadmap* de como receber o produto (Informação verbal)”.

Além de boa instrução por parte do fornecedor, ele também diz que é importante o acompanhamento pós-venda da tecnologia, pois eventuais problemas podem acontecer e a proximidade do fornecedor é essencial para propor ações de melhoria, tanto do equipamento quanto do processo de implementação.

- “Estive próximo do fornecedor nacional e todas as nossas ações foram cumpridas. Dois exemplos, nós solicitamos a redução de peso do primeiro modelo do equipamento nacional que nós utilizamos. Do nosso ponto de vista técnico, o equipamento ainda estava muito pesado. Ele conseguiu uma redução bem expressiva de 800g no equipamento e para o processo de pintura nós precisávamos de uma capa protetora para o equipamento, porque nós lidamos com solvente, tintas, e isso iria impregnar e prejudicar o uso dele. O vendedor se propôs e fez uma capa protetora para que nós utilizássemos o equipamento nessa área (Informação verbal)”.

Ainda na mesma sessão, porém em outro nível, o entrevistado foi questionado sobre o que foi prometido e entregue dos cargos de chefia para a equipe de operação e funcionários da empresa. Ele diz que ocorreram treinamentos, acompanhamento dos processos e a capacitação dos funcionários para a utilização dos exoesqueletos e que, assim como o acompanhamento do fornecedor, foi essencial para o sucesso da implementação.

- “Em toda a implementação do exoesqueleto houve um treinamento, era o ponto inicial, além da integração de um treinamento, houve também um processo de adaptação, não só simplesmente colocando o exoesqueleto e deixando as pessoas trabalharem, foi um processo gradual. É importante que a gente traga o equipamento, mas é importante que ele também não seja um trauma para o indivíduo que estaria utilizando (Informação verbal)”.

Embora tenha ocorrido uma boa articulação entre o fornecedor e as equipes da empresa, também ocorreram imprevistos no processo, o que pode acontecer mesmo após todas as análises feitas, mas ele diz que é nesse momento que a resiliência da empresa se aplica.

- “O grande ponto é que nossas atividades são cíclicas e tem uma variação, do ponto de vista produtivo, da peça entrando, do produto entrando na linha de produção. Esse foi o grande impacto, nós nos preparávamos para fazer o estudo, a avaliação ergonômica, a eletromiografia e não tinha um produto. Então isso gerava uma expectativa na equipe que estava utilizando, uma expectativa também para o time técnico e, às vezes, precisava postergar até semanas para conseguir achar o melhor cenário para aplicar a tecnologia (Informação verbal)”.

Porém, para ele, a estratégia é o ponto mais importante para contornar essa situação, e para isso é necessário ter uma equipe multidisciplinar bem treinada. – “O fator principal foi ter um time multidisciplinar focado no resultado, e quando nós temos um grupo multidisciplinar, e aí eu digo não só pessoas no time técnico, como o ergonomista, o engenheiro de segurança, mas eu digo também de ter esse time técnico e trazer quem está no chão de fábrica, para entender a necessidade do estudo e entender que aquilo é um benefício. Quando se tem uma equipe e todo mundo está direcionado para esse objetivo, existe uma abertura de portas enorme para que ele seja um sucesso (Informação verbal)”.

Seção H – Considerações Finais (Informações adicionais)

Ao terminar de responder o roteiro de entrevista, o entrevistado se propôs a expor uma breve apresentação que foi feita para equipes de engenharia dentro da empresa, afim de mostrar o projeto que o setor de EHS tinha com o uso dos exoesqueletos. O intuito dessa apresentação foi mostrar para outras áreas a importância do uso de novas tecnologias ou equipamentos para a saúde e segurança do trabalhador e também o quão importante é o trabalho multidisciplinar e o envolvimento de outros setores da empresa nesse processo de implementação.

- “Eu vou compartilhar com você um *powerpoint* bem rápido para mostrar um pouquinho de como foi esse processo. A ideia foi montar um time, não só com os profissionais de ergonomia, técnicos e engenheiros de segurança, mas também um time de engenharia de manufatura, projeto e desenvolvimento e também, nosso principal foco, o time da produção (Informação verbal)”.

- “Um dos pontos iniciais foi buscar entender porque nós levantamos os braços. Isso é importante, porque na Empresa nos precisamos fazer um produto de grande porte e muito complexo, e dependendo da estação e do estágio onde ele está, existem pessoas que trabalham por um longo período com os braços elevados acima do nível da cabeça. Lógico que não 100% do tempo, mas ocorre, pois a empresa precisa que o produto saia da linha de montagem. Por isso trazer um diagnóstico de lesões nos ombros, questões sobre acidente de trabalho e doença ocupacional são tão importantes, pois foi um tema abordado mais de 10888 vezes dentro dos indicadores do antigo Ministério do Trabalho e também no Ministério da Saúde. Então esse é um número expressivo. Hoje existem muitos trabalhadores que sofrem desse tipo de lesão relacionada ao ombro e o time corporativo tem que estar ciente disso (Informação verbal)”.

- “Bom, quais foram as nossas premissas do projeto, primeiro, eliminar os riscos de doenças ocupacionais, adequar a nossa produção frente à indústria 4.0, aumentar a produtividade no processo de manufatura e melhorar a qualidade dos postos de trabalho para os nossos operadores, que é o nosso core e nosso objetivo principal. E com isso nós trouxemos o exoesqueleto para linha de produção, que já era um produto estudado lá fora, mas que dentro da Indústria de manufatura de produtos de grande porte, praticamente, não existiam iniciativas para a utilização desse equipamento. Então, o exoesqueleto trouxe pra gente um pouco da correção de postura e redução das enfermidades, uma melhoria na qualidade do trabalho, na dinâmica do trabalho como um todo, na questão de conforto e produtividade e na questão da movimentação com o corpo sem a

resistência. A nossa ideia era ter um equipamento que não impactasse tanto o operador (Informação verbal)”.

Em seguida ele comenta sobre a revisão das atividades do setor de montagem de um dos componentes mais importantes do produto final. Nesse setor eles reavaliaram todas as atividades e propuseram mudanças de turno entre os trabalhadores e incluíram pausas constantes para que houvesse uma diminuição do tempo de execução da atividade com os braços acima da cabeça. Esse processo foi anterior ao uso dos exoesqueletos, e por isso ele diz que o exoesqueleto tem muito a ajudar em meio a essas atividades, conforme verbalizado a seguir.

- “Aqui eu vou passar um pouco sobre como foi a revisão das atividades. Nesse setor tentamos distribuir, inclusive colocar pausas para os operadores ao longo da jornada, para que ele passasse menos tempo com os braços elevados e realizasse atividades antes do tombamento do componente do produto final. Quando o produto chega da linha de produção, ele está nesse carro, então ele fica em pé numa posição totalmente fora da posição que assume no produto final. Então existe a possibilidade de melhorar grande parte dessas atividades que são realizadas com o componente fora da sua posição final. E a implementação de equipamentos mais leves e mais simples, que foi exatamente o grande ganho, além dos exoesqueletos, que nós tivemos nesse tipo de atividade (Informação verbal)”.

Por último ele cita a questão da pandemia e como ela afetou todo esse planejamento. Ele comenta que antes da covid-19 eles já haviam reavaliado as atividades, finalizado algumas análises e validado o uso do exoesqueleto, além de terem buscado fortalecer as relações do time envolvido no processo. Portanto, com a flexibilização das medidas protetivas contra a covid-19 eles retomaram alguns desses planos de ação, mesmo aqueles que foram prejudicados.

- “Aqui tem um pouco do que nós tratamos antes da pandemia. Então, a pandemia fez a gente retardar algumas ações, mas nós revisamos as atividades, nós finalizamos as análises ergonômicas nos postos de trabalho, fizemos a validação do exoesqueleto e atualizamos as nossas instruções de trabalho para os operadores. E os pontos principais que, inclusive, eu citei nessa entrevista com você, foi a questão do time, então nós envolvemos e centralizamos ações dentro da equipe de produção. Teve um envolvimento da nossa área de EHS, de logística, de manufatura e

de planejamento de produção. Sem esse time e sem essa engrenagem funcionando o resultado seria outro, não seria um resultado satisfatório (Informação verbal)”.

Por fim, o entrevistado conclui que sua experiência com os exoesqueletos passivos para membros superiores foi boa, mas para que haja a experiência ideal com a tecnologia, devem ser feitos, em diversos níveis, análises, acompanhamentos, treinamentos e envolvimento de uma equipe multidisciplinar, além da necessidade de manter uma proximidade dos fornecedores da tecnologia para o alinhamento de expectativas e feedbacks. Sem esses processos, a implementação de qualquer inovação se torna mais complexa do que já é.

A figura 25 a seguir ilustra as respostas do entrevistado 4:

Figura 25. Síntese das respostas do entrevistado 4

| EMPRESA C | Seção A Sobre o Entrevistado | Seção B Experiência com os Exoesqueletos | Seção C Indústria 4.0 e Ergonomia | Seção D Exoesqueletos x Empresa | Seção E Exoesqueletos x Trabalhador | Seção F Situação atual da tecnologia na empresa | Seção G Prescrito x Real | Seção H Informações adicionais | Contribuições |
|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|
| <p>Setor de manufatura de Produtos de grande porte</p> <p>Entrevistado 4</p> | <p>Engenheiro de Segurança do Trabalho</p> <ul style="list-style-type: none"> • É responsável pelo time corporativo • Tem 15 anos de empresa e também atua a 15 anos dentro da área de segurança do trabalho. Sua responsabilidade é a padronização de processos, procedimentos em âmbito global e também desenho de novos processos, como por exemplo o exoesqueleto, o software de gestão de EHS corporativo e também a parametrização de procedimentos internos. | <ul style="list-style-type: none"> • Passivos de membros superiores • Hoje estudam a cooperação entre a realidade aumentada e o uso desses exoesqueletos em treinamentos ou simulações de utilização | <ul style="list-style-type: none"> • Indústria 4.0 é uma era que vem para revolucionar a indústria como um todo e, principalmente, através da utilização de tecnologias de inovação. Ele acredita que ela vem como o intuito principal de integrar pessoas e tecnologias, buscando inovar, melhorar aspectos produtivos e de bem-estar do trabalhador. • Indústria 4.0 e ergonomia se relacionam e pode trazer benefícios para o campo da ergonomia, se tratando da interação entre máquina e processo, e máquina e pessoas • Ele faz uma associação indireta dos exoesqueletos como uma tecnologia 4.0 na seção H da entrevista. | <ul style="list-style-type: none"> • Ouviu falar sobre exoesqueletos pela primeira vez através da empresa e do contato dos fornecedores internacionais • Implementação - Setores que envolviam atividades com elevada movimentação de braço, como o setor de pintura e o de equipagem • A escolha desses postos de trabalho se deu pela análise conjunta entre os setores envolvidos no bem-estar dos trabalhadores. • Refizeram a cronoanálise das atividades para embutir o tempo de setup do exoesqueleto. Diz que o processo de mudança de atividades na empresa foi necessário para potencializar as vantagens dele • Vantagens - Conforto e rapidez na produtividade • Desvantagens - Dificuldade em conseguir a mudança de mindset dos operadores | <p>Compraram os exoesqueletos para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melhorar bem-estar dos funcionários • Diminuir a taxa de absenteísmo de alguns setores da empresa • Dar início a uma mudança organizacional • Feedback trabalhadores - Satisfeitos | <ul style="list-style-type: none"> • Sendo utilizado • Recomendaram a tecnologia para outros setores e estão passando pelo processo de adaptação do equipamento frente aos processos produtivos e as equipes • Recomenda para outras empresas que irão adquirir o exoesqueleto que seguiam passos essenciais de análise antes da implementação, e são eles: O envolvimento do time técnico, o estudo da atividade, a aplicação da cronoanálise para ver o tempo de elevação de braço, o estudo eletromiográfico e avaliação ergonômica. | <ul style="list-style-type: none"> • Fornecedores nacionais - deixaram claro para que os exoesqueletos industriais serviam, fazendo uma boa revisão e entrega técnica de seu equipamento. • Fornecedores Internacionais - não houve clareza, pois percebeu um perfil comercial, sem muito conhecimento técnico e embasamento científico a respeito dos benefícios da tecnologia • Fornecedor nacional acompanhou o processo de implementação e o fornecedor internacional não. Se não tivessem um roadmap teriam passado dificuldades de implementação com o internacional. • Ressalta a importância do acompanhamento pós-venda e de uma equipe multidisciplinar focada no resultado | <p>Apresentação que fez para a empresa com o projeto do setor de EHS para o uso dos exoesqueletos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intuito - Mostrar para as equipes a importância do uso de novas tecnologias ou equipamentos para a saúde e segurança do trabalhador e também o quanto importante é o trabalho multidisciplinar e o envolvimento de outros setores da empresa nesse processo de implementação. | <p>O entrevistado conclui que sua experiência com os exoesqueletos passivos para membros superiores foi boa, mas para que haja a experiência ideal com a tecnologia, devem ser feitos, em diversos níveis, análises, acompanhamentos, treinamentos e envolvimento de uma equipe multidisciplinar, além da necessidade de manter uma proximidade dos fornecedores da tecnologia para o alinhamento de expectativas e feedbacks. Sem esses processos, a implementação de qualquer inovação se torna mais complexa do que já é.</p> |

Fonte – Autor

4. DISCUSSÃO

4.1. DISCUSSÃO DAS SEÇÕES DO ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS

As entrevistas foram realizadas com o objetivo de compreender o que é o exoesqueleto, se ele se enquadra como uma tecnologia 4.0, como é o seu processo de aquisição, quais são as barreiras para a implementação dessa tecnologia em meio à indústria e também dar luz a questões que surgiram durante a revisão integrativa. Por conta disso, dividiu-se o roteiro de entrevista em seções que buscaram elucidar questões específicas sobre o tema.

As seções foram separadas de A à H, cada uma abordando um tema específico. Após a coleta dos dados, as informações foram estruturadas e expostas no tópico 3.2 do presente estudo para serem posteriormente discutidas separadamente, a fim de trazer contribuições e análises do que foi apresentado. As seções A e B não foram avaliadas, pois trazem informações como o cargo do entrevistado e o tipo de tecnologia que foi utilizada durante a sua experiência.

SEÇÃO C

Nessa seção buscou-se compreender o que os entrevistados entendiam que era a indústria 4.0, qual relação eles acreditavam que os exoesqueletos tinham com essa era tecnológica e de que forma ela poderia afetar o campo da ergonomia. Com isso, foi-se criada uma figura com a análise de cada caso sobre esse tema, conforme apresentado a seguir:

Figura 26. Discussão por empresa - Seção C

| <p>Seção C Indústria 4.0 e Ergonomia</p> | <p>EMPRESA A Entrevistado 1</p> | <p>EMPRESA A Entrevistado 2</p> | <p>EMPRESA B Entrevistado 3</p> | <p>EMPRESA C Entrevistado 4</p> |
|---|--|--|---|--|
| | <p>Descreve a indústria 4.0 como sendo a interação entre robôs e seres humanos, porém não cita a questão da conectividade, que é o que define essa era. Isso demonstra que ela possui conhecimento sobre o tema indústria 4.0, porém pela ótica de um profissional de fisioterapia. Geralmente, profissionais dessa área buscam entender o básico de determinados assuntos, de forma que possibilite uma conversa com outras áreas profissionais. Por isso, nessa entrevista pode-se notar que não houve vínculo entre exoesqueletos e indústria 4.0 e indústria 4.0 e ergonomia. Porém, embora não tenha feito a associação direta, ela cita que adquiriram o equipamento afim de dar um ar de modernidade à empresa.</p> | <p>Demonstra conhecer o que é indústria 4.0 e a define, principalmente, pela questão da conectividade, que é o que a diferencia das eras industriais anteriores. Por conta disso, podemos notar que ele possui um conhecimento mais aprofundado sobre o que é indústria 4.0, mas também não faz o vínculo entre indústria 4.0 e exoesqueletos por não possuírem conectividade. Já para o tema de indústria 4.0 e ergonomia, ele diz que as duas áreas podem se complementar, mostrando que há relação, mas não através dos exoesqueletos</p> | <p>Mostrou amplo domínio sobre o tema da indústria 4.0, trazendo a questão da conectividade como pilar essencial dessa era, o que possibilita o auto monitoramento e a auto gestão de máquinas através da conectividade. Da mesma forma ele acredita que a relação entre indústria 4.0 e ergonomia é próxima, uma vez que ela aproxima a relação entre o homem e a máquina. Já o exoesqueleto e indústria 4.0 não tem relação, pois não há a questão da conectividade, considerado pilar central dessa era, segundo o entrevistado.</p> | <p>Mostra domínio sobre o tema da indústria 4.0, dizendo que é uma era revolucionária, que busca a integração entre tecnologias de inovação e seres humanos, além de possibilitar a conectividade entre máquinas. Por conta disso, pode-se notar que ele conhece bem o que é indústria 4.0, e em alguns momentos durante a entrevista, faz a associação indireta entre ela e os exoesqueletos, embora cite no início que essa relação não deve ser estabelecida. Já para o tema de indústria 4.0 e ergonomia, ele diz serem áreas de relação próxima, pois se integram através da relação homem-máquina-conectividade.</p> |

Fonte – Autor

Através das análises acima, pode-se tirar alguns *insights* baseados nos relatos dos entrevistados. Entende-se que o fato de eles saberem ou não o que é indústria 4.0 não interfere diretamente na aplicação dos exoesqueletos dentro da indústria, uma vez que nenhum dos entrevistados faz essa ligação de forma direta entre eles e Indústria 4.0. Nota-se que são tratados como contribuições inovadoras para o campo da ergonomia, genericamente como um processo de modernização.

Sendo assim, considerando as informações encontradas na revisão bibliográfica, especialmente nas definições acerca da Indústria 4.0 e seus pilares, sugere-se desvincular os exoesqueletos à indústria 4.0, uma vez que essa tecnologia não traz a conectividade como fator central.

Isso vai no sentido contrário às informações encontradas nos sites dos fabricantes de exoesqueletos e também de relatos apresentados por usuários da tecnologia, que fazem essa relação. Notou-se que ao longo do presente estudo a tendência de associação entre os exoesqueletos e indústria 4.0 começou a diminuir na academia e em sites. Porém, ainda não há um enquadramento

certo e definido pela literatura e muito ainda se usa para vincular o equipamento a essa era, principalmente por áreas que comercializam a tecnologia.

Observa-se assim que, embora esse tipo de associação não apareça mais de forma explícita na grande maioria dos veículos midiáticos, ainda circula dentro da indústria a ideia de que os exoesqueletos são uma tecnologia 4.0. Isso levanta um questionamento a respeito da etapa de negociação dos fornecedores com os clientes, uma vez que através do boca-a-boca esse vínculo pode permanecer como mais uma ferramenta de persuasão para fechar o negócio. Entretanto, essa é uma questão que pode ser abordada em estudos futuros afim de compreender a veracidade de tal argumento.

Por outro lado, nota-se que todos os entrevistados fazem a associação entre ergonomia e indústria 4.0, uma vez que existem inúmeras possibilidades que podem trazer contribuições relevantes para essa área, tanto através de benefícios físicos ao trabalhador do chão de fábrica, como para níveis hierárquicos como equipes de engenharia, de projeto, administrativas ou posições que tenham cargas cognitivas relevantes. Ou seja, essa interação pode se manifestar através, por exemplo, da implementação de sistemas que possibilitem a leitura de dados do chão de fábrica para o sistema da fábrica em tempo real, ajudando na análise e facilitando a visualização e tomada de decisão das equipes, ou robôs, além de inúmeras outras contribuições que ainda podem se provar como benéficas.

Dessa forma, os *insights* que concluem essa seção sugerem que os exoesqueletos não são uma tecnologia 4.0, mas sim uma inovação do campo da ergonomia, e por isso devem ser tratadas como tal. Já a relação entre indústria e ergonomia é mais próxima, uma vez que existem diversas possibilidades de interação entre as duas.

SEÇÃO D

Nessa seção buscou-se entender como foi o primeiro contato do entrevistado com a tecnologia, como se deu a escolha do posto de trabalho para a sua aplicação, quais foram as estratégias para tal, qual é o nível de maturidade de implementação atual da tecnologia e quais foram suas vantagens e desvantagens. A figura 27 contém análises do que foi dito por cada entrevistado nessa seção:

Figura 27. Discussão por empresa - Seção D

| Seção D Exoesqueletos x Empresa | EMPRESA A Entrevistado 1 | EMPRESA A Entrevistado 2 | EMPRESA B Entrevistado 3 | EMPRESA C Entrevistado 4 |
|--|--|---|--|--|
| | <p>As desvantagens foram consideravelmente maiores que as vantagens e isso se deve ao fato de as empresas sempre buscarem soluções rápidas para problemas ergonômicos maiores. O exoesqueleto deve ser tratado como algo que vem para complementar e agregar ao trabalhador e o processo e não para solucionar grande problemas. Por isso ela pontua a importância da análise prévia dos postos de trabalho antes de qualquer implementação ou aquisição, pois, muitas vezes, existem soluções mais baratas, simples e eficientes.</p> | <p>Os exoesqueletos foram apresentados à organização pela primeira vez em uma viagem de treinamento para o país de origem da empresa. La a tecnologia se mostrou promissora, entretanto estava em um ambiente controlado e ideal. Quando trazida para o Brasil, as diferenças e dificuldades de implementação se sobressairam em relação as vantagens. Muito disso se deve aos locais em que a tecnologia foi testada, uma vez que envolviam postos de trabalho dinâmicos e com esteira. Outro fator que dificultou o processo foi o ajuste do aparelho no trabalhador, uma vez que não é o trabalhador que tem que se ajustar ao equipamento, mas sim o inverso. Então, nesse caso nota-se a importância da análise prévia e simulação em postos de trabalho, pois soluções mais simples, objetivas e baratas podem ser encontradas, como o banco ajustável com rodinha.</p> | <p>Nesse caso, nota-se que as vantagens e desvantagens dependem muito do nível de análise prévio que se tem dos postos de trabalho e setores antes da escolha da melhor tecnologia. Essa entrevista, mais uma vez, elucida a importância das análises prévias antes de qualquer implementação, uma vez que elas são importantes para elencar possíveis soluções para um problema ergonômico do posto de trabalho. Outro ponto de atenção trazido nesse caso é a questão da entrada do equipamento no chão de fábrica, pois é o momento em que os problemas e dificuldades irão surgir, o que justifica o que foi dito pelo entrevistado sobre a importância da proximidade do fornecedor durante esse processo para acompanhar e trazer subsídios técnicos que ajudem a contornar problemas com a implementação. Por ultimo, ele cita a questão da implementação dos exoesqueletos em postos de trabalho dinâmicos. Esse é um detalhe importante, uma vez que os exoesqueletos vem para reduzir o tempo de contração muscular estática e aliviar sobrecargas durante essa atividade, e não para diminuir o número de repetições e movimentos dela.</p> | <p>Um relato relevante do caso é que os fornecedores internacionais focam muito sua abordagem na área comercial, e buscam vender os equipamentos, mas não fazem o acompanhamento pós-venda que é muito importante. Esse ponto evidência mais uma vez que é indispensável o acompanhamento dos fornecedores no processo pós-venda. Outro ponto importante é sobre a escolha do posto de trabalho para implementação. A escolha se deu pelas atividades com movimentação elevada e estática acima do nível da cabeça, o que mostra que esse tipo de atividade de contração muscular estática é mais propício ao uso do exoesqueleto do que atividades de elevada repetição de movimentos. A ultima barreira à implementação dos exoesqueletos é também a mudança de mindset dos operadores para a implementação de uma nova tecnologia, visto que alguns trabalhadores estão na empresa a anos e ja acostumados com um processo, então, além das dificuldades de implementação, também é necessário paciência para a mudança de mindset.</p> |

Fonte – Autor

Primeiramente, pode-se notar que o primeiro contato dos entrevistados com os exoesqueletos foi através da empresa ou fornecedores da tecnologia. Observa-se no caso que, por conta de a tecnologia estar em alta, as empresas buscaram entender melhor sobre o equipamento e os benefícios que eles poderiam trazer para os postos de trabalho e saúde do trabalhador, embora também houvesse a intenção de ganharem visibilidade como uma empresa atualizada e tecnológica.

Há aqui uma relação com os conceitos de modismos gerenciais, porém, o modismo identificado não é diretamente relacionado com a Indústria 4.0, mas sim com uma necessidade de

modernização associada com visibilidade. Embora tenham sido percebidos traços de modismo gerencial, esse não parece ser um fator central para a aquisição e implantação dos exoesqueletos.

Como era uma novidade e pouco havia se estudado sobre eles, as empresas foram persuadidas por alguns fornecedores internacionais que buscavam vender a tecnologia, mas muitas vezes, sem propor um acompanhamento ou serviço atrelado a ela, o que posteriormente mostrou-se um detalhe importante para o sucesso de implementação do exoesqueleto.

A entrada do equipamento no chão de fábrica foi apontada por dois dos entrevistados como momentos cruciais da implementação, e são ignorados por alguns fornecedores. Portanto, recomenda-se buscar fornecedores que vendam a tecnologia atreladas a um acompanhamento, o que pode ser benéfico para a coleta de feedbacks que ajudem a melhorar o produto, e ao mesmo tempo propõe uma colaboração e alinhamento de expectativas entre quem vende e quem compra.

O relato acima corrobora com o princípio do trabalho prescrito x trabalho real, constante da ergonomia da atividade amplamente debatido na literatura por Guérin et al. (2001) e Daniellou (2004), tema esse que já foi abordado anteriormente na revisão integrativa do presente estudo. Nesse momento deve-se salientar a integração entre o que a literatura apresenta e o que foi relatado por entrevistados. Na evidência acima, pode-se notar uma concordância, onde se acredita que acompanhamento da implementação por parte dos fornecedores, assim como aplica-se para o trabalho, é compreendido como uma atividade humana em que o objetivo é determinado socialmente, bem como suas normas e condições para sua execução. Dessa forma, conclui-se que esse processo não deve seguir uma mera prescrição.

Em relação a escolha dos postos de trabalho, nota-se que, de forma unânime, os entrevistados concordam que os exoesqueletos são mais efetivos em postos de trabalho que exigem uma contração muscular estática do trabalhador superior a 1 minuto. Para esse tipo de situação, a tecnologia se mostrou favorável e, inclusive, foi um fator decisório para a definição dos postos de trabalho dos casos apresentados. Além disso, recomendam também que não se faça a implementação em postos dinâmicos ou com esteiras, pois muitas vezes os exoesqueletos podem limitar a mobilidade do trabalhador e gerar constrangimentos e desequilíbrio.

Uma vez escolhidos os postos de trabalho, os entrevistados elaboraram estratégias de implementação e, todas continham a análise da atividade como premissa, afim de buscar soluções possíveis para a resolução de problemas dos referidos postos. Disseram que, muitas vezes, após a análise notaram que soluções mais simples e baratas poderiam substituir o uso dos exoesqueletos, como um banquinho regulável. Em três dos quatro casos essa foi uma solução mais interessante.

Outra opinião comum entre os entrevistados foi em relação a utilização ideal dos exoesqueletos. Para eles, devem ser implementados em ocasiões específicas onde um trabalhador se adaptou a ele e, após análises e simulações, nenhuma outra solução viável foi encontrada.

Um ponto de ressalva a respeito do relato sobre o trabalhador se adaptar ao exoesqueleto é que, para a ergonomia da atividade, o trabalho nunca deve forçar o trabalhador a se adaptar a ele, mas sim o contrário. Portanto, deve-se levar em conta se a tecnologia se adaptou ao operário e não o forçar a se enquadrar na proposta da tecnologia.

Nota-se então que, assim como em outros processos de implementação, a fase de análise e simulação da atividade antes de qualquer tomada de decisão é crucial. Não há a possibilidade de apresentar a tecnologia a um trabalhador desavisado, uma vez que ele não entende para o que aquela inovação serve e muito menos como ela pode beneficiar o trabalho que realiza. Por isso, para dois dos quatro entrevistados, a fase de treinamento da equipe e explicação dos benefícios da tecnologia são outro fator importante no processo de implementação, uma vez que a mudança de *mindset* dos operadores é uma barreira à implementação, visto que o operador é quem a utilizará.

Com isso, os participantes encerraram a seção falando sobre as principais vantagens e desvantagens do equipamento. De forma geral, relataram vantagens diferentes, pois envolviam modelos de equipamento diferentes.

Para os de membros inferiores, as vantagens foram apenas a possibilidade de alternar posturas em pé e sentado, o que é pouco se lavarmos em conta o valor do investimento feito na tecnologia. Já para os equipamentos de tronco e membros superiores, as vantagens foram maiores, uma vez que ajudavam a reduzir a fadiga postural e de ombros na execução de atividades de trabalho.

Em relação as desvantagens, os dois entrevistados que testaram os exoesqueletos para membros inferiores notaram alguns problemas como o desequilíbrio, a sensação de fadiga das pernas e o desconforto ao sentar no equipamento.

Essas foram queixas específicas que envolviam os exoesqueletos para membros inferiores, porém houveram desvantagens comuns apresentadas pelos entrevistados em todos os modelos, que foram:

- A sensação de calor, o que piorava o bem-estar percebido da atividade, uma vez que no verão a própria vestimenta do trabalhador gera esse desconforto térmico.
- A dificuldade de ajuste do equipamento ao trabalhador, o que acaba gerando um quadro de perda de propriocepção ao usá-lo. Como propriocepção entende-se a capacidade do ser humano em reconhecer a localização espacial do corpo, posição e orientação, a força exercida pelos músculos e a posição de cada parte do corpo com relação às demais, sem necessariamente usar a visão. Ou seja, o equipamento atrapalha na percepção do trabalhador sobre os estímulos do ambiente e como deve reagir a eles.
- A perda da rotação de postos de trabalhos entre os operadores, uma vez que o equipamento toma tempo e tem que passar por uma troca de componentes que ficam em contato com o corpo do trabalhador, caso não possuam o equipamento próprio.

Portanto, os insights da seção sugerem que haja um acompanhamento por parte dos fornecedores no processo de implementação da tecnologia, afim de alinhar expectativas e buscar melhorias no produto. Outro fator importante é sobre a escolha dos postos de trabalho, onde recomenda-se avaliar se é um posto estático ou dinâmico e se há mais de 1 minuto de contração estática na atividade. E por último, avaliar a relevância da realização de análises e simulações prévias, afim de entender se existem soluções mais viáveis que os exoesqueletos.

SEÇÃO E

Nessa seção buscou-se compreender qual foi o motivo principal para cada empresa ter adquirido o exoesqueleto e também entender como foi o feedback final dos trabalhadores após a experiência com a tecnologia durante a implementação. A figura 28 faz uma análise por entrevista sobre os motivos da aquisição e como foi o feedback geral dos trabalhadores:

Figura 28. Discussão por empresa - Seção E

| <p>Seção E Exoesqueletos x Trabalhador</p> | <p>EMPRESA A Entrevistado 1</p> | <p>EMPRESA A Entrevistado 2</p> | <p>EMPRESA B Entrevistado 3</p> | <p>EMPRESA C Entrevistado 4</p> |
|---|--|--|--|--|
| | <p>Aqui os exoesqueletos foram comprados para melhorar o bem-estar dos trabalhadores e para passar a imagem de uma empresa tecnológica. Pode-se notar de forma evidente a questão do modismo gerencial, onde as empresas sentem a necessidade de comprar tecnologias que estão em alta para saírem de uma posição retrograda, o que acaba levando a inovação ao desuso. Esse foi um exemplo, pois ao fim dos testes de implementação notou-se que os trabalhadores e a empresa não estavam alinhados em expectativas com o uso dos exoesqueletos, por isso o relato de insatisfação dos operadores</p> | <p>Os exoesqueletos foram comprados para reduzir o índice de lesão dos trabalhadores e melhorar o seu bem-estar. Observa-se no caso que, através da análise anterior dos postos de trabalho, com e sem os exoesqueletos, chegou-se a conclusão de que o modelo adquirido não era uma boa opção para os setores selecionados, decisão essa que também levou em conta o nível de insatisfação dos trabalhadores. Para eles, montar um banquinho com regulagem e rodinhas foi uma opção melhor e alcançou os objetivos. Consta-se assim que os melhores postos de trabalho para a aplicação dos exoesqueletos são aqueles em que nenhuma outra solução foi encontrada para resolver um problema ergonômico.</p> | <p>Por já terem um processo de análise prévia da biomecânica dos trabalhadores para a colocação dos exoesqueletos e também para a análise dos postos de trabalho, obtiveram sucesso na melhoria do bem-estar dos trabalhadores e uma consequente redução do índice de lesão. Pode-se notar que essa padronização de processos e procedimentos, fada uma implementação ao sucesso. Porém é recomendado atentar-se às variabilidades de cada caso isolado.</p> | <p>Os exoesqueletos foram adquiridos para melhorar o bem-estar dos funcionários, diminuir a taxa de absenteísmo de alguns setores da empresa, além de dar início a uma mudança organizacional. Nesse caso, nota-se uma reestruturação de processos e um envolvimento de equipes focadas no resultado. Isso foi outro fator importante no sucesso de implementação dos exoesqueletos, uma vez que o envolvimento de diferentes áreas é crucial para o entendimento de atividades e a aceitação dos usuários da tecnologia. Por isso, a experiência do entrevistado com os exoesqueletos para membros superiores foi um sucesso.</p> |

Fonte – Autor

Através do quadro pode-se notar que alguns motivos para a compra da tecnologia se alinham entre os entrevistados. Em todos os casos, o motivo comum foi para melhorar o bem-estar dos trabalhadores e também diminuir a taxa de absenteísmo. Esse foi um relato já esperado, uma vez que a tecnologia tem esse intuito dentro de uma organização. Entretanto não se deve assumir com certeza que esses foram os reais motivos para a compra, muito pelas razões a seguir.

Nota-se que apenas um dos entrevistados focou na questão de passar a imagem de uma empresa tecnológica. Esse relato diz muito sobre o objetivo das empresas por trás da compra de uma nova tecnologia. A grande maioria não admite, mas esse propósito é omitido algumas vezes, pois dizer que o foco principal é melhorar a saúde e bem-estar são mais bem vistos. A reflexão é válida, uma vez que duas pessoas da mesma empresa foram entrevistadas, mas uma relatou que a compra tinha o intuito de passar uma imagem de empresa tecnológica e o outro não.

No fundo, observa-se que houve um encantamento por parte das empresas no momento da compra dos equipamentos, buscando através dele, a melhoria de problemas que iam além da

implementação de uma tecnologia. Na época, essas decisões acabaram desconsiderando a percepção e o desejo dos trabalhadores em relação ao uso dos exoesqueletos, e por isso muitos tiveram aversão a eles.

Dessa forma, nos casos do presente estudo em que os participantes compraram as tecnologias, mas entenderam para o que serviam, respeitaram o tempo de implementação, envolvendo diferentes equipes, operadores e fornecedores no processo, obtiveram um feedback mais positivo quando comparado aos casos que pularam etapas da aplicação. Portanto, evidencia-se aqui a importância do envolvimento de equipes através da abordagem participativa no processo de implementação para buscar o êxito na implementação dos exoesqueletos. Entretanto, mesmo após algumas análises, ele pode estar fadado a inutilização, visto que podem ser substituídos por opções mais simples e acessíveis.

SEÇÃO F

Nesse momento buscou-se informações a respeito da situação atual da tecnologia na empresa, quais foram os motivos para a continuação, ou não, da utilização e quais são as recomendações dos entrevistados para empresas que irão comprar o equipamento e como devem agir para que haja a melhor experiência possível. A figura 29 contém análises sobre o que foi dito por cada entrevistado na seção:

Figura 29. Discussão por empresa - Seção F

| Seção F Situação atual da tecnologia na empresa | EMPRESA A Entrevistado 1 | EMPRESA A Entrevistado 2 | EMPRESA B Entrevistado 3 | EMPRESA C Entrevistado 4 |
|--|--|--|---|--|
| | <p>Os exoesqueletos estão inutilizados atualmente na planta. A decisão foi tomada após análises prévias a implementação. Como buscaram entender qual seria o melhor posto de trabalho para aquele modelo de tecnologia, fizeram análises e testes com o exoesqueleto, simulando diferentes alocações. Porém, para os postos de trabalho escolhidos, ele não foi a opção recomendada, levando a conclusão de que um banquinho adaptável era melhor nos cenários apresentados. Por isso, ela diz que só recomendaria que outras empresas ou setores o adquirissem se opções mais simples não fossem encontradas. Um ponto positivo foi que a entrevistada se considera capacitada a orientar setores, ou outras empresas que buscarem comprar a tecnologia, podendo passar orientações e sugestões antes de qualquer implementação. Pode-se notar que a análise e simulação prévias são importantes na aplicação de exoesqueletos.</p> | <p>Os exoesqueletos estão inutilizados atualmente, pois não foram uma opção interessante para os setores escolhidos. Para ele, opções mais simples são mais atraentes e baratas, como a utilização de um banquinho adaptável. Aqui nota-se a importância de análises prévias dos postos de trabalho e setores antes da aquisição da tecnologia, pois, segundo ele, decidir comprar um exoesqueleto é uma decisão cara. Por conta disso, o entrevistado não recomendaria o uso para outros setores ou empresas devido ao baixo custo benefício da tecnologia. Por ter vivido essa experiência com os exoesqueletos, ele se considera capacitado a ensinar/ orientar novas empresas ou setores que pensam em implementar o exoesqueleto, o que pode ser importante para evitar novas situações de dificuldades e frustrações com o investimento.</p> | <p>Nesse caso, alguns exoesqueletos estão sendo utilizados e outros não. Porém, o grande destaque dessa entrevista é sobre a questão do entusiasmo em relação a tecnologia quando ela chega a uma empresa. Deve-se ter cautela nessa fase, pois notou-se que durante a implementação, pelo período de 15 dias, os funcionários se mostravam satisfeitos com a tecnologia, o que apontava um cenário favorável ao uso dela. Entretanto, após o período de 15 dias, os funcionários perdiam o entusiasmo e os problemas e desconfortos começavam a surgir. Além da questão do entusiasmo, também pode-se identificar a questão de os exoesqueletos não resolverem todos os problemas ergonômicos dos postos de trabalho. Alguns desses problemas são contornados através de análises e reestruturações complexas do trabalho e, muitas vezes, as empresas querem pular essas etapas. Por isso, o banquinho resolve problemas de forma mais eficaz e barata e os exoesqueletos deveriam ser a última solução a ser colocada em um posto.</p> | <p>Houve sucesso na implementação dos exoesqueletos e a empresa esta no processo de recomendar a tecnologia para outros setores internos. Aqui nota-se que o entrevistado recomenda passos essenciais de análise antes de qualquer implementação, como o envolvimento do time técnico, o estudo da atividade, a aplicação da cronoanálise para ver o tempo de elevação de braço, o estudo eletromiográfico e avaliação ergonômica. Aqui, mais uma vez, entra a questão da análise prévia do trabalho e do trabalhador. Essa etapa é importante, pois possibilita diagnosticar as variabilidades existentes entre postos de trabalho e execuções de atividades, para que assim a melhor alocação da tecnologia possa acontecer.</p> |

Fonte – Autor

O quadro mostra informações importantes sobre os motivos pelos quais alguns modelos do exoesqueleto não se encaixaram em certos postos de trabalho. Pode-se notar que em dois dos três casos as tecnologias estão total ou parcialmente inutilizadas na empresa, e muito se deve ao fato de terem adquirido um modelo de produto sem antes realizar uma análise ergonômica detalhada. Essa análise prévia permite que a empresa estude outras possibilidades viáveis para postos de trabalho, como o banquinho ajustável que foi citado em três entrevistas. Isso evita frustrações aos compradores que pensam em investir um alto valor em um produto que pode não trazer um retorno interessante, e caso queiram investir, que saibam qual é o melhor modelo para o seu interesse.

Por isso, a contribuição comum das entrevistas, não importando o modelo do exoesqueleto, é que essa tecnologia deve ser a última opção a ser implementada em um posto de trabalho. Pode ser eficiente em casos específicos, em que houve um bom entendimento sobre a tecnologia, análises prévias, planejamentos de implementação, treinamentos dos envolvidos e em casos que ele se adaptou a algum funcionário. Nota-se que as variabilidades em meio a esse tipo de implementação são muito grandes e mudam de caso para caso, por isso a abordagem ergonômica é uma boa solução para esse tipo de situação, uma vez que é feita para lidar com as diferenças da cotidianidade do trabalho.

Além disso, houve uma recomendação específica trazida por um dos entrevistados que abordava o tema do entusiasmo. Para ele, essas tecnologias, por serem novidades no mercado vinculadas a soluções aparentemente interessantes para as empresas, geram o entusiasmo tanto na equipe que comprou o equipamento, como nos trabalhadores. No momento da entrada com o exoesqueleto no chão de fábrica, nota-se que os trabalhadores ficam entusiasmados com a novidade e, em alguns casos, relatam de prontidão a satisfação com a tecnologia. Porém, em experiências passadas, observou-se que após o período de 15 dias esse encantamento esmaecia e a tecnologia não era mais interessante. Para ele, conclusões maiores a respeito dos benefícios não podem ser validadas antes dessa etapa de experimentação.

Esse relato vai contra o estudo de Kadir & Broberg (2020) apresentado anteriormente na revisão integrativa. O entrevistado descreve que o entusiasmo relacionado à tecnologia, normalmente, ocorre nos primeiros contatos e após o período de 15 dias esse entusiasmo passa. Em contrapartida, o estudo referido acima aponta que há uma piora do bem-estar percebido dos trabalhadores nos momentos iniciais, entretanto esse bem-estar melhora com o decorrer da implementação.

Portanto, deve-se procurar mais evidências a respeito dessa discussão afim de elucidar o motivo das disparidades entre a literatura e o estudo de caso aqui em questão. O estudo de Kadir & Broberg (2020) envolve a análise da implementação de tecnologias diversas em mais de uma empresa, portanto o tipo de tecnologia, o porte da empresa e a cultura organizacional devem influenciar na percepção do trabalhador sobre o ambiente de trabalho com a chegada da tecnologia. Por isso, embora argumentado de forma sólida no referido estudo, os casos da indústria devem ser

analisados de forma individual, pelo fato de apresentarem variabilidades de perfil e tecnologia. A figura 30 a seguir, que já foi apresentado no referencial teórico do presente estudo, será retomada por mérito de contextualização da discussão acima.

Figura 30. Bem-estar percebido e desempenho geral do sistema nos períodos antes, durante e depois da implementação de novas tecnologias



Uma visão geral simples de como o bem-estar percebido e o desempenho geral do sistema mudam antes, durante e depois da implementação de novas tecnologias digitais

Fonte: KADIR & BROBERG (2020)

Por isso, como forma de compilar as contribuições da seção, pode-se notar que nas quatro entrevistas os participantes recomendaram a análise ergonômica previa dos setores a serem estudados, afim de elencar possíveis soluções para os problemas encontrados. O exoesqueleto deve entrar em situações em que não foram encontradas soluções viáveis, pois são um investimento alto e esse deve ser bem direcionado. Uma boa prática de implementação seria entender sobre a tecnologia, fazer análises prévias, planejar a implementação, treinar os envolvidos, simular a implementação e executar o plano de ação.

SEÇÃO G

A seção G foi introduzida no roteiro de entrevista após a aplicação de duas entrevistas do presente estudo, por conta disso foi aplicada apenas nos dois entrevistados finais. Nessa parte buscou-se entender como foram passadas as informações sobre os exoesqueletos dos fornecedores para os compradores das empresas e como esses compradores passaram as informações dos fornecedores para sua equipe interna. Tentou-se entender assim como as variabilidades de

entendimento desde os fornecedores até o chão de fábrica podem interferir no resultado final de implementação dos exoesqueletos. A figura 31 a seguir mostra um quadro com a análise dos dois entrevistados que participaram dessa seção:

Figura 31. Discussão por empresa - Seção G

| | EMPRESA A Entrevistado 1 | EMPRESA A Entrevistado 2 | EMPRESA B Entrevistado 3 | EMPRESA C Entrevistado 4 |
|------------------------------------|---|--|------------------------------------|--|
| Seção G Prescrito x Real | Não teve contato com o fornecedor, portanto não respondeu | Houve clareza dos fornecedores sobre a função e o propósito dos exoesqueletos, além de boa revisão e entrega técnica do equipamento. Também houve clareza por parte do fornecedor em como implementar a tecnologia. Porém, pode-se notar que não houve acompanhamento pós-venda dos exoesqueletos, que é uma etapa de extrema importância para algumas empresas. Essa importância se prova a medida que empresas de menor porte que compram novas tecnologias e inovações, podem não possuir procedimentos e roadmaps definidos para a chegada dessas novidades, o que dificulta mais ainda o processo de implementação. Outro fator importante desse acompanhamento é para facilitar o alinhamento de expectativas entre equipes e ajudar no desenvolvimento de treinamentos voltados para a implementação, além de possibilitar que o fornecedor receba feedbacks de melhoria do equipamento para atender melhor as demandas do mercado. | Não respondeu à seção G | Nesse caso, a experiência de compra foi melhor com os fornecedores nacionais do que com os internacionais. Nota-se que os nacionais fizeram uma ótima revisão e entrega técnica do equipamento, diferentemente do fornecedor internacional que focou apenas na parte comercial. Deve-se evidenciar então a importância da clareza na hora da venda do produto, pois se não há transparência em relação a utilização técnica do equipamento, quem o comprou irá usá-lo da forma que bem entender, não tendo o melhor proveito do produto. E como sempre haverá variabilidades na execução de uma implementação, a transparência facilita esse processo. Então a clareza da entrega técnica do equipamento e o pós-venda, são cruciais. Para mais, é importante também ter uma equipe multidisciplinar focada no resultado. Quando uma equipe está unida e alinhada em prol de um objetivo, há fluidez nas etapas do processo. |

Fonte – Autor

A reflexão acima traz *insights* cruciais para o estudo em questão, pois apresenta relatos que vem desde o processo de aquisição da tecnologia até a sua apresentação para a empresa. Pode-se notar que para ambos os entrevistados a apresentação técnica do equipamento é importante para os processos posteriores a venda, pois nesse momento ficam inteirados sobre os benefícios da tecnologia, ganham uma noção de como ajustar o equipamento ao corpo do trabalhador, além de

ficarem por dentro das recomendações de implementação do fabricante. Essa etapa apresenta as boas práticas do uso dos exoesqueletos.

Por isso, o entrevistado 2 diz que quando compraram o exoesqueleto tiveram uma ótima entrega técnica do equipamento por meio do fornecedor, o que facilitou no momento de treinar a equipe para sua implementação, o que prova que a clareza e a boa descrição técnica dos fornecedores são essenciais no momento da compra. Para o entrevistado 4 a entrega técnica feita pelos fornecedores nacionais foi impecável e clara, porém, diz que observou um perfil diferente dos fornecedores internacionais. Para ele os internacionais foram muito comerciais e pouco técnicos, o que teria trazido dificuldades na implementação caso já não possuíssem um *roadmap* de aplicação dentro da empresa.

A questão do *roadmap* foi abordada em todas as entrevistas em algum momento. O *roadmap* é um plano estratégico que define uma meta ou resultado desejado e inclui as principais etapas ou marcos necessários para alcançá-lo. Eles são normalmente usados como planos para a implementação de novas tecnologias nas empresas, possibilitando que otimizem o tempo e o investimento no processo. Por isso, foi recomendado pelos entrevistados que outras empresas desenvolvam um *roadmap* padrão para a chegada de novas tecnologias, pois graças a ele, a implementação dos exoesqueletos foi facilitada e possibilitou uma uniformização de processos.

Essa uniformização de processos é um tema importante, pois também ocorre através do acompanhamento dos fornecedores após a venda da tecnologia. Essa continuidade do fornecedor no processo garante que a clareza e alinhamento de expectativas entre o comprador e o fornecedor continuem e que as variabilidades de interpretação não interfiram nas etapas. O acompanhamento também facilita a fase de treinamento de equipes, uma vez que o fornecedor pode guiar os supervisores da empresa em como estruturar o treinamento com base nas melhores práticas do uso da tecnologia. Isso proporciona uma diminuição nas variabilidades de comunicação em toda a cadeia.

O argumento acima, mais uma vez, pode ser comparado com o princípio do trabalho prescrito x trabalho real apresentado anteriormente na revisão integrativa e na seção D por Guérin et al. (2001) e Daniellou (2004). Nesse caso, o princípio se aplica ao nível do fornecedor e cargos administrativos da empresa. Entre o que é prescrito através do fornecedor e o que de fato é

compreendido por cargos de gestão, existe a realidade da atividade do trabalho, com variabilidades de interpretação envolvidas. Ou seja, o fornecedor tem uma ideia a respeito da implementação de seu produto e os gestores tem a sua própria interpretação do que foi prescrito. Por isso, a proximidade do fabricante evita que as subjetividades de interpretação interfiram no processo.

Por meio disso, é válida a cooperação entre os dois níveis pós-venda, uma vez que o alinhamento de expectativas evita frustrações durante a execução do plano de aplicação e torna factível a implementação do exoesqueleto, uma vez que o ajuda a se adaptar ao trabalho em questão, porém sem a obrigatoriedade de seguir o plano inicial à risca.

Para os entrevistados, de forma unânime, essa clareza possibilita que os times caminhem em direção a um objetivo comum e sem desvios de interesse, tornando o processo mais claro, menos estressante e mais eficaz. Por isso, conclui-se que os pontos mais relevantes da seção são sobre a importância da clareza da entrega técnica dos fornecedores para os compradores dos exoesqueletos, o que facilita a transmissão de informações, além necessidade de padronização e estabelecimento de *roadmaps* internos a empresa que facilitem a implementação de inovações. Por último está a questão do acompanhamento da implementação por parte dos fornecedores, o que garante a uniformização de processos e de comunicação ao longo da cadeia em prol de um objetivo final.

SEÇÃO H

Essa seção foi separada exclusivamente para que os entrevistados pudessem adicionar eventuais questões ou informações que desejassem. Nesse momento, apenas o entrevistado 4 quis adicionar informações e fez a exposição de uma apresentação que usou para unir equipes, explicar a importância de inovações e dos exoesqueletos. Aqui pode-se ter uma visão de como foi a abordagem do setor para conseguir a mudança de *mindset* dos trabalhadores para a chegada dos exoesqueletos, implementação essa que foi bem-sucedida. A figura 32 a seguir contém o quadro com a análise dessa apresentação:

Figura 32. Discussão por empresa - Seção H

| | EMPRESA A Entrevistado 1 | EMPRESA A Entrevistado 2 | EMPRESA B Entrevistado 3 | EMPRESA C Entrevistado 4 |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| Seção H Informações adicionais | Não quis adicionar informações | Não quis adicionar informações | Não quis adicionar informações | O entrevistado expôs a mesma apresentação que usou para introduzir os exoesqueletos para as equipes que seriam envolvidas no processo de implementação. Nela ele fala sobre os índices de lesão dos trabalhadores que exercem atividades acima do nível da cabeça, segundo o ministério do trabalho, enfatizando a importância de buscar uma solução para esse tipo de problema. Além disso, mostra os benefícios da formação de uma equipe multidisciplinar focada no resultado. Nessa entrevista pode-se notar que a clareza dos objetivos de uma implementação, e explicação efetiva sobre os benefícios de uma nova tecnologia, fazem com que a equipe entenda e se motive a trabalhar em prol de algo novo. Se expectativas não forem alinhadas, a motivação do time se perde a medida que a execução do projeto anda. |

Fonte – Autor

A estratégia inicial abordada pelo entrevistado na apresentação foi conscientizar as equipes envolvidas, desde pessoas do setor de EHS, até pessoas da engenharia e chão de fábrica. Nesse momento ele explicou através de dados do ministério do trabalho os índices de lesão nos ombros dos trabalhadores que exerciam atividades com contração muscular prolongada acima do nível da cabeça. Nesse momento ele buscou unir uma equipe em prol da melhoria de um problema de saúde ocupacional que atinge boa parte das empresas do país.

Em seguida, expôs as análises prévias que havia feito dos postos de trabalho que apresentaram os maiores índices de lesão do ombro. Aqui ele tenta trazer a questão abordada no início da apresentação para os processos de sua própria organização. Uma vez que ele e sua equipe de EHS já haviam feito a análise previa dos melhores postos de trabalho para implementar os exoesqueletos, houve facilidade para passar as informações sobre os benefícios da tecnologia recém-chegada na empresa. Essa fase é muito importante, pois ajuda a reunir os membros de outras

equipes e consegue fazê-los caminhar em direção a um objetivo comum. Por isso a importância da clareza de comunicação entre o fornecedor e quem comprou a tecnologia, pois posteriormente essas informações serão usadas para treinamentos e reuniões multidisciplinares.

Após a apresentação dos processos que necessitavam de soluções, ele introduziu a tecnologia, explicando bem o que são os exoesqueletos, qual seria o melhor modelo para resolver aquele problema ergonômico específico e quais são os seus benefícios. Nesse momento ele buscou conquistar os ouvintes e vende-los os benefícios daquela novidade que acabara de entrar na organização. Sem esse processo de convencimento e esclarecimento, os setores não se mobilizam para ajudar na continuidade da implementação, segregando um processo que deveria conter uma equipe multidisciplinar.

Por meio disso, o relato do entrevistado 4 foi crucial para entender melhor como se desenrolou o processo inicial de uma implementação de sucesso dos exoesqueletos dentro de uma empresa. Aqui, mais uma vez, pode-se ver a importância das análises ergonômicas dos postos de trabalho antes de qualquer comunicação ou apresentação da tecnologia, uma vez que outras soluções poderiam ser encontradas previamente, evitando a necessidade de um investimento maior e de uma frustração das equipes envolvidas.

As discussões dissertadas anteriormente sobre as seções do roteiro de entrevista foram importantes para levar-nos a refletir a respeito de informações que foram apresentadas, tanto nos casos como na literatura, gerando *insights* que contribuem para a comunidade acadêmica. A seguir serão discutidos os *insights* finais retirados de todo esse processo, afim de responder as perguntas de pesquisa anteriormente elencadas. Juntamente a isso, serão apresentadas as contribuições do presente estudo.

5. DISCUSSÃO FINAL E CONTRIBUIÇÕES

Através das perguntas de pesquisa e os objetivos específicos, se direcionou o estudo em questão, buscando informações na literatura e através do estudo de caso, afim de responder essas lacunas identificadas. As perguntas de pesquisa foram:

Q1: Quais são as práticas relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações no campo da ergonomia física?

Q2: As práticas identificadas foram de fato bem-sucedidas em sua aplicação ou podem ser consideradas modismos gerenciais?

Q3: Quais foram as dificuldades encontradas no processo de implementação?

Com a definição das perguntas, foram traçados objetivos específicos que buscaram responde-las. Os objetivos específicos foram:

- Identificar as práticas relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações e contribuições;
- Sistematizar as aplicações e contribuições do uso de exoesqueletos no campo da ergonomia;
- A partir das análises, propor um modelo teórico que possa auxiliar as empresas nos processos de aquisição e implementação destas tecnologias em suas instalações industriais.

Desta forma, esse tópico busca evidenciar possíveis respostas a essas perguntas de pesquisa.

A primeira pergunta, “Quais são as práticas relacionadas à Indústria 4.0 e suas aplicações no campo da ergonomia física?” pode ser respondida através da primeira revisão bibliográfica sistemática (RBS 1), onde identificou-se as tecnologias que são trazidas como práticas da indústria 4.0 no campo da ergonomia, mais especificamente os robôs colaborativos e exoesqueletos. A identificação destas foi a base para a resposta das perguntas seguintes.

Todavia, considerando os aspectos teóricos, como as definições e pilares da Indústria 4.0, e ainda as observações provenientes dos estudos de caso, considera-se que os exoesqueletos não podem ser associados à Indústria 4.0, diferentemente dos Robôs Colaborativos.

Primeiramente, os Robôs Colaborativos podem ser considerados uma tecnologia 4.0 devido ao enquadramento de algumas ferramentas nos nove pilares (Manufatura aditiva, Realidade Aumentada, Robôs Autônomos, Big Data e Analytics, Nuvem, Segurança Cibernética, Integração de Sistemas Horizontal e Vertical, Internet Industrial das Coisas (IIoT) e Simulação). Porém, não se enquadram necessariamente no campo da ergonomia física. Isso se deve ao fato de o foco principal da tecnologia ser voltada ao campo de segurança do trabalho, uma vez que o

enquadramento de alguma tecnologia é justificado através de seu foco principal. O seu benefício para o campo da ergonomia física existe, porém não é o seu propósito.

O oposto ocorre com os exoesqueletos passivos, que são uma ferramenta para o campo da ergonomia física, mas não se enquadram como tecnologia 4.0. Isso é justificado por não possuírem características que o vinculem aos nove pilares da indústria 4.0 (Manufatura aditiva, Realidade Aumentada, Robôs Autônomos, Big Data e Analytics, Nuvem, Segurança Cibernética, Integração de Sistemas Horizontal e Vertical, Internet Industrial das Coisas (IIoT) e Simulação).

Essas informações são evidenciadas primeiramente em referencial teórico e em seguida através dos casos do presente estudo. Nos três casos os entrevistados desvinculam a indústria 4.0 dos exoesqueletos, pois o entrevistado 1 não sabe ao certo a definição de indústria 4.0, o que representa uma não associação entre essa era e os exoesqueletos. Já os entrevistados 2, 3 e 4 sugerem separar a indústria 4.0 e o exoesqueletos, mas que devemos trata-los como uma inovação. A figura 33 a seguir evidencia esse argumento, apontando quais dos pilares da indústria 4.0 estão presentes, ou não, nos exoesqueletos e Robôs Colaborativos.

Figura 33. Pilares da Indústria 4.0 nos Robôs Colaborativos e Exoesqueletos

| | Robô Colaborativo | Exoesqueleto Passivo |
|--|-------------------|----------------------|
| Manufatura aditiva | × | × |
| Realidade Aumentada | × | × |
| Robôs Autônomos | ✓ | × |
| Big Data e Analytics | ✓ | × |
| Nuvem | ✓ | × |
| Segurança Cibernética | ✓ | × |
| Integração de Sistemas Horizontal e Vertical | ✓ | × |
| Internet Industrial das Coisas (IIoT) | ✓ | × |
| Simulação | × | × |

Fonte – Autor

Essas evidências paralelas, entre a literatura e os casos aqui gerados, confirmam a suposição de que essas tecnologias estão mal enquadradas na literatura e também abre porta para a discussão sobre os modismos gerenciais, tema esse que ajuda a responder a segunda pergunta de pesquisa do presente estudo, que foi: “As práticas identificadas foram de fato bem-sucedidas em sua aplicação ou podem ser consideradas modismos gerenciais?”

O referencial teórico trouxe informações da literatura sobre como foram as experiências de implementação dessas práticas em meio a indústria. Como evidenciado, essa aplicação foi falha por diversos motivos a serem discutidos a seguir.

Uma vez que essas tecnologias estão mal enquadradas, isso pode gerar confusão, tanto para as empresas que as comprem, como pode gerar oportunidades para os fornecedores vincularem promessas milagrosas a seus produtos. Nesse caso as empresas, que estão em um ambiente industrial não desenvolvido, não querem ser consideradas desatualizadas e, através disso, buscam soluções rápidas no mercado que a façam sair da inércia. É neste momento que os fornecedores aproveitam essa oportunidade e vinculam seus produtos às soluções que seus clientes buscam.

O fato de a indústria 4.0 ser um assunto em alta na atualidade e representar uma era tecnológica promissora, se torna vantajoso para os fornecedores vincularem seus produtos a ela, uma vez que não se sabe muito sobre a indústria 4.0 no Brasil. Dessa forma, as empresas tentadas a saírem da inércia buscam essas soluções vendidas, que quando levadas para a prática não se mostram tão milagrosas assim. Essa é a definição de modismo gerencial, onde se tenta copiar outras empresas que entraram nessa indústria do gerencialismo, para não ficarem para trás, conforme evidenciado e argumento no referencial teórico.

Entretanto, observa-se que o modismo gerencial referido acima não está relacionado ao tema indústria 4.0 especificamente, mas sim à uma necessidade de modernização, onde notou-se um perfil tecnocrata das empresas. Isso se verifica a medida que a maioria das organizações busca o exoesqueleto como ponto de partida para solução de problemas organizacionais complexos ao invés de passar por análises prévias do trabalho em si, afim de levantar possíveis soluções viáveis antes da aquisição do equipamento.

Esse argumento corrobora com o estudo de Cunha et al. (2022) que aponto um perfil fortemente tecnocrata na grande maioria das empresas atuais, evidenciando que as organizações relatam que os benefícios tecnológicos vem para auxiliar no bem-estar dos trabalhadores, embora, na grande maioria, não se veja uma abordagem ergonômica que proponha uma participação ativa dos trabalhadores em projetos de concepção para a implementação. Prova-se então que a indústria ainda vê a tecnologia como ponto de partida para a solução de problemas complexos e que a modernização ainda ofusca a abordagem ergonômica da atividade em se tratando da resolução de problemas vinculados ao trabalho.

E é através dessa alegação que se torna possível responder a terceira, e última, pergunta de pesquisa do presente estudo, que é: “Quais foram as dificuldades encontradas no processo de implementação?”.

As dificuldades de implementação são claramente derivadas dos dois fatores anteriormente identificados, o enquadramento das tecnologias e o modismo gerencial. Uma vez que se busca soluções rápidas para a resolução de problemas, a tendência é a negligência de etapas importantes de compreensão, tanto da tecnologia como do ambiente em que ela será implementada. Isso foi visto tanto no referencial teórico como no estudo de caso.

Etapas como a análise do posto de trabalho, da estrutura organizacional que envolve esse trabalho e a análise da melhor tecnologia para a atividade são muito importantes no momento da implementação, mas foram justamente os processos mais ignorados. Na maioria das vezes, esses fatores são mais importantes do que a própria tecnologia, pois sem uma boa estrutura organizacional, um *Roadmap* bem definido e um envolvimento dos trabalhadores nos processos de implantação e da análise da atividade, gera-se um ambiente de trabalho tenso, especialmente para aqueles que estão em contato direto com a tecnologia.

Esse argumento se sustenta através das falas dos entrevistados nos casos do presente estudo, onde alegam que sem um *Roadmap* previamente estabelecido para o recebimento de novas tecnologias, suas respectivas empresas teriam enfrentado dificuldades de implementação dos exoesqueletos passivos. Além disso, eles também destacam a importância de um time multidisciplinar focado no resultado - Trecho do CASO C – “O fator principal foi ter um time multidisciplinar focado no resultado, e quando nós temos um grupo multidisciplinar, e aí eu digo

não só pessoas no time técnico, como o ergonomista, o engenheiro de segurança, mas eu digo também de ter esse time técnico e trazer quem está no chão de fábrica, para entender a necessidade do estudo e entender que aquilo é um benefício. Quando se tem uma equipe e todo mundo está direcionado para esse objetivo, existe uma abertura de portas enorme para que ele seja um sucesso”.

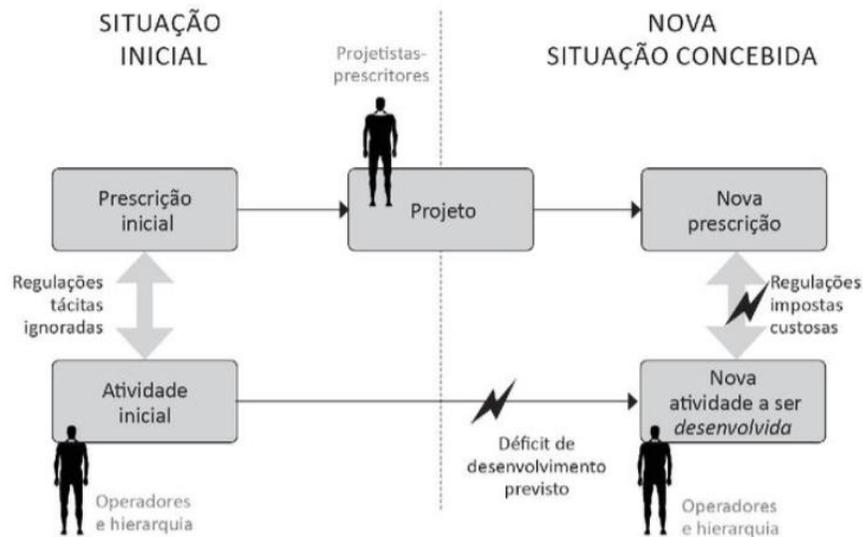
Esse processo descrito acima é similar à análise feita por Barcellini et al., (2016) que cita a eficácia da abordagem da Ergonomia Construtiva que propõe o acompanhamento dos projetos de concepção, articulando análise ergonômica do trabalho, abordagem participativa e simulação do trabalho. Quando essas três condições são reunidas e articuladas, há uma forte tendência de desenvolvimento das novas atividades propostas em uma empresa. Isso se dá, pois, uma implementação tecnológica ou nova proposta de fluxo de trabalho vão além do que é prescrito pelos prescritores de tarefas de uma organização. Entre a tarefa prescrita de trabalho e o que realmente acontece, se inscrevem diversas variabilidades, que se não levadas em consideração, direcionam projetos de implementação ao fracasso.

Durante a concepção de alguns projetos o trabalho não é levado em conta, e por isso os diferentes níveis hierárquicos da empresa, como os responsáveis pelas decisões (diretoria, chefe de projeto, recursos humanos), operadores e operadoras, projetistas (departamento de métodos, engenharia de estudos e projetos, consultoria) e órgãos representativos dos trabalhadores, não tem uma participação colaborativa no desenvolvimento de atividades do trabalho, o que atrapalha a implementação de novos métodos e inovações (BARCELLINI et al. 2016) como, por exemplo, os exoesqueletos industriais.

Essa falta de comunicação entre os níveis hierárquicos gera um planejamento e execução de projeto mecânica e que não leva em consideração os diferentes atores envolvidos nessa concepção. Perpetua-se assim um desenvolvimento da atividade do trabalho restrita e que impossibilita os operadores de relatarem as variabilidades do trabalho real aos cargos superiores. Esses relatos são primordiais na concepção de projetos de inovação e, muitas vezes, as falhas de execução são originadas na inadequação dos dispositivos prescritivos que levam insuficientemente em conta as lógicas estruturantes das atividades e suas variabilidades e mostra também um déficit de desenvolvimento das atividades úteis para o funcionamento do novo dispositivo (RABARDEL,

1995; TERSSAC, 1992; BÉGUIN, 2008). A figura 34 abaixo ilustra esse déficit de desenvolvimento das atividades.

Figura 34. O déficit de desenvolvimento das atividades em uma condução de projeto sem a consideração do trabalho real.



Fonte: BARCELLINI et al. (2016)

Com isso, Barcellini et al., (2016) propõe uma abordagem, originada na ergonomia da atividade, que visa o enriquecimento do projeto por meio da consideração do trabalho. Essa metodologia se baseia em uma análise do projeto e das atividades de trabalho, de forma que se estabeleça uma abordagem estruturada, participativa e colaborativa, realizando simulações que possam testar diferentes alocações de atividades antes da implementação. É através dela que o time de projeto revê estratégias antes da aplicação e permite que os operadores tenham um papel importante na concepção do novo modelo de trabalho e projeto.

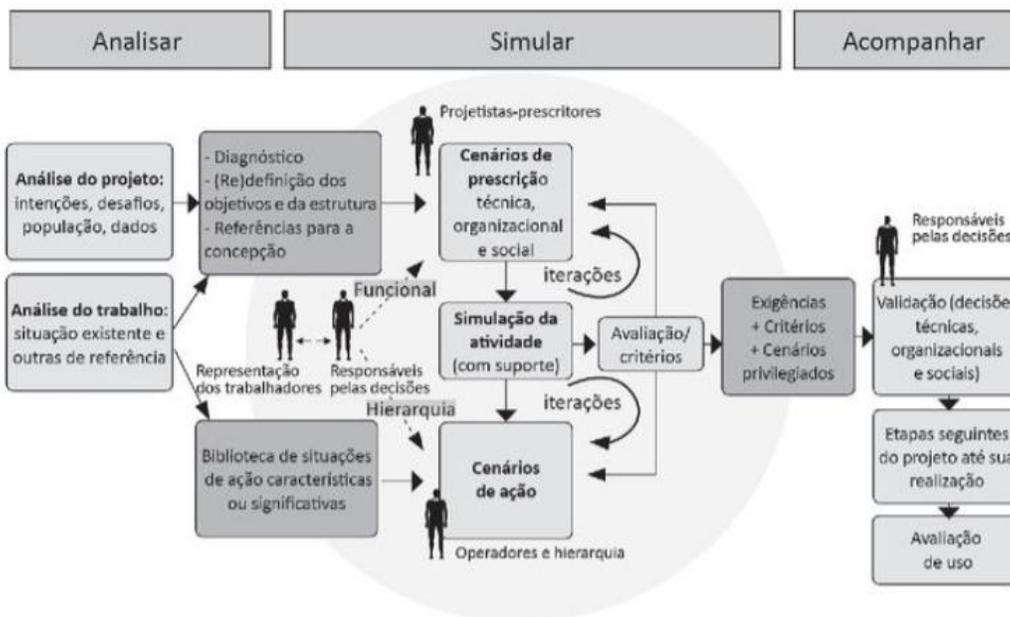
Os atores principais que devem estar nesse modelo de concepção participativa são os citados anteriormente, ou seja, cargos de decisão, operadores e operadoras, projetistas e órgãos representativos dos trabalhadores. Essa metodologia conta com três etapas principais que são:

Analisar, Simular e Acompanhar as atividades, sendo a simulação o centro do processo. As funções de cada etapa são:

- Analisar: Construir conhecimentos sobre o projeto e o trabalho real.
 - Métodos: Análise do projeto e Análise ergonômica do trabalho
- Simular: avaliar e enriquecer as propostas dos projetistas.
 - Métodos: Simulação
- Acompanhar: “transformar” o ensaio da simulação.
 - Métodos: Análise do Projeto

A figura 35 a seguir ilustra as três etapas dessa abordagem e em que momento cada ator está envolvido:

Figura 35. Abordagem (atualizada) de projeto proposto pela ergonomia da atividade.



Fonte: BARCELLINI et al. (2016)

Esse processo pode produzir efeitos que vão além dos prescritos em projetos iniciais, pois dão liberdade para que os atores desenvolvam suas atividades de trabalho em diversos níveis

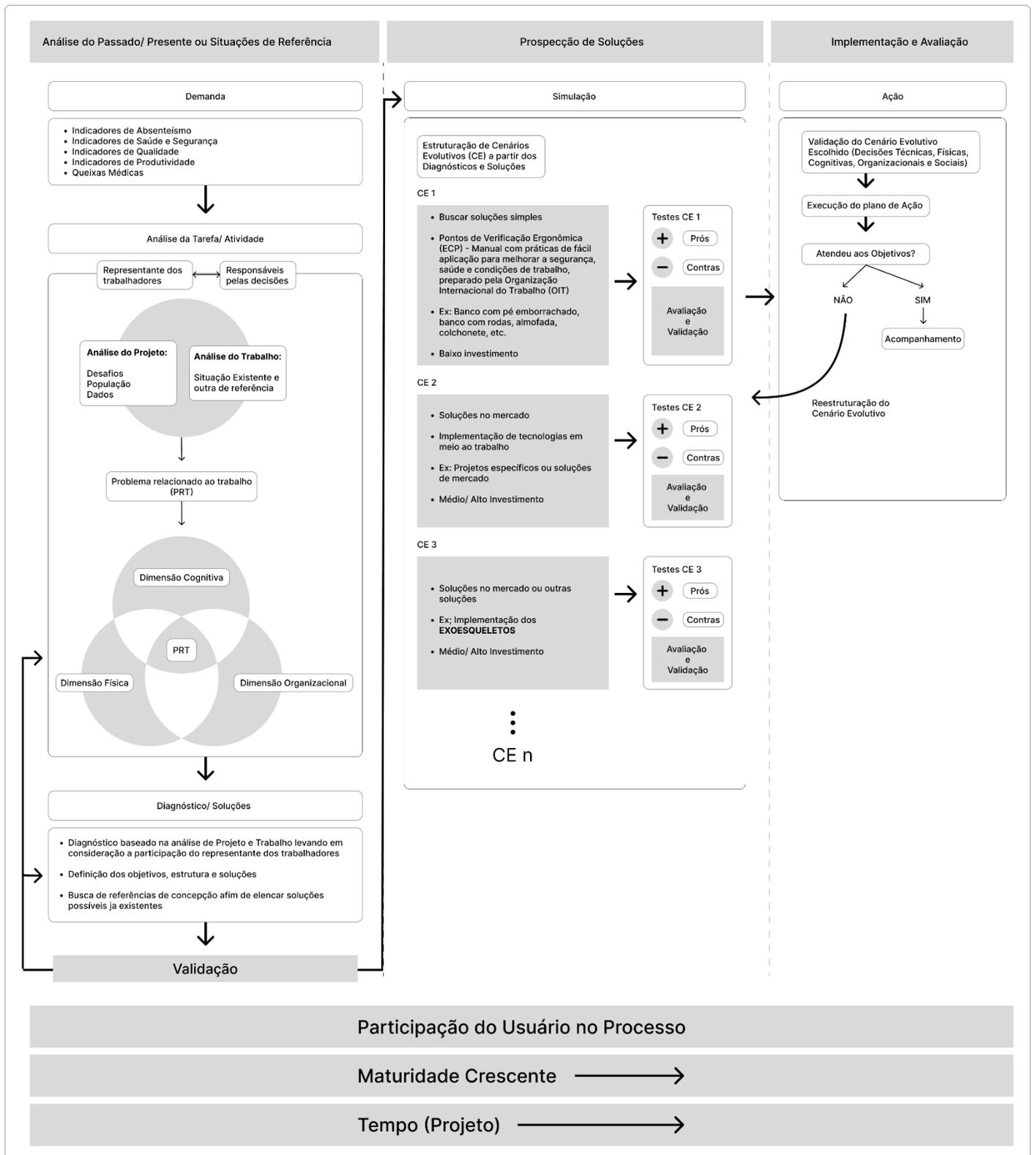
hierárquicos, ou seja, desde cargos administrativos até os operadores. Isso pode servir como um *Roadmap* para que empresas busquem integrar diferentes níveis da empresa em um projeto, tornando a cultura da equipe voltada para a adaptação do trabalho ao trabalhador, melhorando assim o bem-estar dos envolvidos e contribuindo para a construção de uma abordagem dialógica de inovação e de desenvolvimento da atividade. (BÉGUIN, 2008; BARCELLINI et al. 2016).

Trazendo esse tema para implementação dos exoesqueletos, pode-se notar que a abordagem utilizada na implementação de uma tecnologia define o ritmo ou o sucesso dela dentro de um ambiente corporativo. Por isso, o projeto de concepção e a abordagem dialógica podem mostrar um caminho para a implementação dos exoesqueletos na indústria, ou também apontar quais situações são favoráveis a ele.

Dessa forma, o projeto de concepção e a abordagem dialógica podem dar luz às equipes, através da análise do trabalho e da comunicação entre níveis hierárquicos, e apontar se existem outras soluções viáveis que sejam mais simples e eficazes. Toda inovação exige um investimento financeiro, de preparação, treinamento e gestão organizacional. Então, se existem essas soluções mais simples, elas devem ser priorizadas antes de qualquer investimento, mas só serão identificadas em casos de análise do trabalho envolvido e reuniões entre equipes multiprofissionais (BÉGUIN, 2008; BARCELLINI et al. 2016).

Por meio disso, no presente estudo buscou-se criar um modelo baseado naquele proposto por Barcellini et al., (2016), porém aplicado para a implementação de exoesqueletos. Esse modelo é a contribuição final do estudo aqui em questão e foi desenvolvido levando em conta as contribuições encontradas na literatura e estudos de múltiplos casos. Essa contribuição se baseia na ideia da ergonomia de concepção, onde os diversos atores envolvidos no processo exercem algum tipo de contribuição para que a atividade se desenvolva de forma natural, sem regulações impostas e custosas ao desenvolvimento da atividade, bem como da implementação. A figura 36 apresenta esse modelo:

Figura 36. Contribuição final do estudo – Modelo Teórico de aplicação dos exoesqueletos passivos



Fonte: Autor

Nota-se assim que o modelo teórico desenvolvido como guia para a implementação dos exoesqueletos propõe que sejam respeitados passos prévios à aplicação da tecnologia, buscando como ponto de partida a análise do passado/ presente ou situações de referência. Inicia-se então pela identificação e definição da demanda, através da observação de indicadores de absenteísmo, saúde e segurança, de qualidade, produtividade e as queixas médicas.

Esses indicadores servem como referência para o direcionamento da demanda, porém para Guérin et al. (2001) essa será definida socialmente através da manifestação de interesse dos atores envolvidos no processo, como membros da direção da empresa, trabalhadores, organizações sindicais e parceiros sociais. É em meio a esse processo de definição que o ergonomista deve atuar nas fases precoces do projeto, filtrando as demandas em ascensão relacionadas ao trabalho e enriquecendo os objetivos, trilhando assim o início da análise da tarefa/ atividade definida (DANIELLOU, 2002; DANIELLOU, 2007).

Doravante, deve-se separar tal análise em dois âmbitos: Análise do projeto, que envolve o reconhecimento dos desafios deste, bem como a identificação da população envolvida e a análise de dados previamente coletados. O segundo ponto é a Análise do trabalho, que almeja avaliar a situação já existente, levantando informações relevantes sobre a execução da atividade selecionada. Como complemento à análise do trabalho, sugere-se encontrar situações de referência que são unidades de produção com características próximas às da futura unidade de produção a ser concebida. Essas não devem ser compreendidas como modelo a ser seguido e sim como fonte de compreensão da variabilidade real e das estratégias empregadas para enfrentá-la (DANIELLOU, 2002; DANIELLOU, 2007)

Através do processo referido acima, entende-se que é definida uma demanda específica, intitulada no modelo teórico como Problema Relacionado ao Trabalho (PRT). Esse é o ponto central no Diagrama de Venn⁶ que representa um problema que engloba as três dimensões da ergonomia, apresentadas em referencial teórico como dimensões físicas, cognitivas e organizacionais. A partir do PRT, há o diagnóstico das análises do projeto e trabalho que culminam na geração de possíveis soluções. Essas devem ser validadas pela equipe envolvida no processo,

⁶ Diagrama de Venn: é uma maneira de apresentar graficamente um conjunto. Nele construímos uma linha fechada, e no seu interior inserimos os elementos do conjunto.

para dar início à segunda etapa do modelo teórico, a prospecção de soluções envolvendo a simulação.

Na etapa de simulação, deve-se criar cenários evolutivos a partir dos diagnósticos e soluções. Esses cenários tem o intuito de dar origem a diferentes cenários que contém soluções diversas, o que proporciona uma compreensão dos fenômenos elencados em cada um deles afim de entender seu custo benefício, bem como se as variabilidades de cada cenário são custosas.

Para Braatz (2015), em síntese sobre esses objetos intermediários, eles servem para designar as concepções antropocêntricas articuladas pelos ergonomistas e projetistas (incluindo seus diferentes atores sociais). Desta forma, tais cenários não são desenvolvimentos exclusivos de um ator específico do projeto (da engenharia ou manutenção, por exemplo) e sim da convergência da participação de todo o grupo de projeto. Tal convergência se dá, na presente articulação, através de espaços de interação e confrontação exclusivamente por meio das situações de simulação. As Situações de Simulação constituem desta forma os momentos específicos em que ergonomistas, projetistas, gestores, operadores, entre outros, interagem sobre os cenários evolutivos com o uso de diferentes Suportes de Simulação.

É dentro dos referidos cenários que surgem as soluções mencionadas, tanto em referencial teórico como nos casos apresentados, que são os banquinhos com roda e os exoesqueletos. Nesse momento que se estuda a possibilidade de alocação de uma tecnologia, portanto, nota-se que os exoesqueletos aparecem do meio para o final do modelo e dentre outras n alternativas de uso. Evidencia-se assim que o processo recomendado pelo modelo teórico não tem o exoesqueleto como ponto de partida para soluções.

Inclusive, o modelo recomenda no primeiro cenário evolutivo que se busque soluções simples antes de qualquer investimento, sugerindo a aplicação dos Pontos de Verificação Ergonômica que vem de um manual desenvolvido pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) onde há recomendação de soluções práticas e de fácil aplicação para melhorar a segurança, saúde e condições de trabalho.

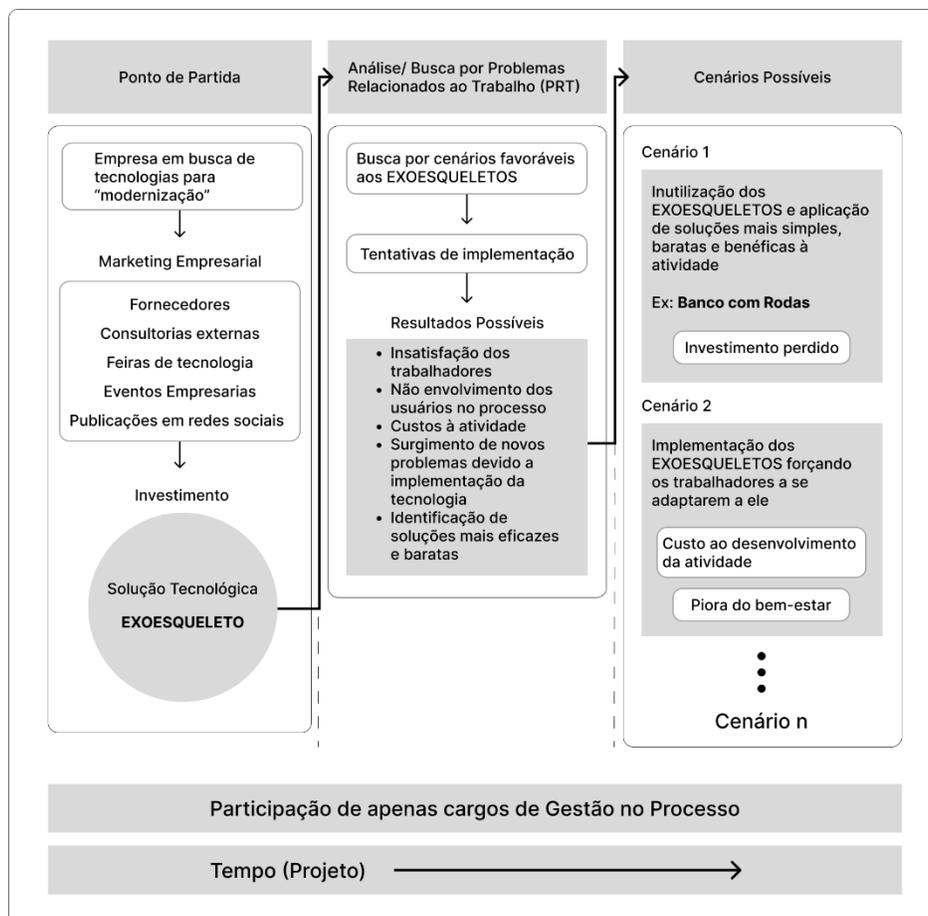
Assim que estruturados e testados, esses cenários evolutivos devem passar por uma etapa de avaliação e validação, afim de selecionar a solução mais promissora que foi estruturada, levando

em conta, principalmente, a opinião dos trabalhadores. Uma vez validado o Cenário, deve-se proceder à última etapa do modelo teórico que é de implementação e avaliação.

Aqui ocorre a execução do plano de ação criado dentro dos cenários evolutivos. Há posteriormente o acompanhamento do referido cenário afim de compreender se esse atende os objetivos estabelecidos. Caso atenda, sugere-se continuar com o acompanhamento visando melhorias no processo e ajustes da atividade, uma vez que a maturidade do projeto cresce proporcionalmente ao tempo. Em contrapartida, se não atendeu aos resultados esperados, recomenda-se reestruturar o cenário evolutivo validado ou rever outros já criados.

Como forma de amarrar o raciocínio, é válido comparar a proposta do modelo teórico do presente estudo com a visão tecnocrata do uso dos exoesqueletos. A imagem 37 a seguir apresenta o modelo que transparece essa visão tecnocrata:

Figura 37. Modelo que exemplifica a visão tecnocrata para solução de problemas



Fonte: Autor

Conforme observa-se na imagem acima, há uma diferença entre a abordagem do modelo teórico e da abordagem tecnocrata, uma vez que a contribuição do estudo aqui em questão engloba etapas importantes prévias a seleção de uma tecnologia. No referido modelo teórico proposto, parte-se de uma análise do passado/ presente ou situações de referência para assim levantar informações relevantes que possibilitem a prospecção de soluções viáveis para o PRT observado em análise inicial. É no momento da prospecção de soluções que, eventualmente, podem aparecer os exoesqueletos, porém, entre n outros cenários que viabilizam soluções para a demanda. Caso o cenário que envolve o uso dos exoesqueletos seja validado, esse deve seguir para a última etapa de implementação e avaliação, onde ocorrerá o acompanhamento da atividade que o envolve, estando ainda assim sujeito a futuras inutilizações ou mudanças de planos.

Nota-se assim, que o modelo referido acima serve como exemplo para questionar e apresentar limitações da abordagem tecnocrata, uma vez que se parte da tecnologia para a resolução de problemas que, em muitas situações, não o demandam. Tal abordagem se torna interessante apenas pela ótica dos fornecedores da tecnologia, uma vez que se vende soluções atreladas a um produto, porém, originam-se através deles, variados outros problemas relacionados a imposição de uma tecnologia que leva todos ao seu redor a se adaptarem a ela, trazendo custos imensuráveis à atividade e bem-estar dos envolvidos. Por meio disso, o modelo teórico almeja retirar o exoesqueleto como foco e busca direcionar os holofotes para a abordagem ergonômica de concepção.

Portanto, baseado na discussão proposta acima a partir dos resultados e do modelo teórico, buscou-se enquadrar o uso dos exoesqueletos dentro da NR 1 que prevê disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais. O intuito de posicioná-lo em uma hierarquia dentro da referida norma serve para que os profissionais que desejarem implementá-lo não se precipitem e o comprem o produto sem antes passar por etapas de análise e teste de soluções mais interessantes, prescrevendo assim melhores práticas para o seu uso e o enquadrando dentre uma hierarquia de soluções.

Dentro de tal norma regulamentadora, a seção 1.5 prevê diretrizes de gerenciamento de riscos ocupacionais que contém em sua subseção 1.5.5.1.2 medidas recomendadas em casos que há inviabilidade técnica da adoção de medidas de proteção coletiva, ou quando estas não forem

suficientes ou encontrarem-se em fase de estudo, planejamento ou implantação ou, ainda, em caráter complementar ou emergencial. Para os casos que seguem esses padrões deverão ser adotadas as medidas previstas em norma.

Tal hierarquia, conforme consta na referida seção, prescreve (a) medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho; e (b) utilização de equipamento de proteção individual – EPI. Essa é a prescrição proposta em documento oficial da referida norma regulamentadora. Os exoesqueletos não são considerados EPIs, mas sim soluções individuais. Portanto, tal como previsto na hierarquia da NR1 o exoesqueleto é complementar ao que está prevista na norma e deve entrar após a parte de EPIs como soluções individuais, conforme exemplificado a seguir:

- (a) medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho; e
- (b) utilização de equipamento de proteção individual – EPI
- (c) soluções individuais – Ex: exoesqueletos industriais

Essa visão corrobora com a de Couto (2019), onde há uma desassociação dos exoesqueletos como EPIs e também se propõe o exoesqueleto como a última solução viável para a resolução de problemas muito específicos. Portanto, a proposta de enquadramento busca preencher a lacuna identificada em referencial teórico, o que evita a associação do equipamento a soluções de problemas complexos e à indústria 4.0, dando luz a uma incerteza que assombra a literatura a quase uma década.

Desta maneira, entende-se que a aplicação prática dos exoesqueletos industriais serviu para mostrar que a proposta para a qual eles foram designados não é completamente adequada, uma vez que seu intuito inicial foi para cenários terapêuticos e de reabilitação, almejando o auxílio de membros debilitados e com baixa funcionalidade, proposta essa que tem comprovação científica de eficácia. Fora desse contexto, como por exemplo nos casos da indústria, eles podem servir apenas para atividades específicas onde nenhuma outra solução foi encontrada, ou situações pontuais.

Com isso, entende-se que os resultados aqui levantados e discutidos direcionam a pesquisa a concluir que essas práticas identificadas na literatura na verdade não devem ser enquadradas

como práticas da indústria 4.0 vinculadas ao campo da ergonomia física, mas sim como tecnologias que caíram em um modismo gerencial muito comum na atualidade, assunto esse amplamente discutido na literatura.

O modismo pode ser o grande responsável da dificuldade de implementação e enquadramento das tecnologias dentro das empresas que às compram, além de representar o mundo moderno no quesito do imediatismo. Ele representa uma geração que busca soluções imediatas e que não despendem esforços para achar soluções. Portanto, nota-se que através da visão tecnocrata da aplicação dos exoesqueletos, incentivada por esse caráter da moda aplicado à indústria, perpetua-se uma mentalidade que estimula a resolução de problemas a partir da tecnologia.

Os resultados do presente estudo provam que tal abordagem é custosa, tanto para a concepção da atividade como para o trabalhador, além de evidenciar que a referida abordagem tira a humanidade e dignidade do operador, rebaixando-o à um manequim que será trajado com o exoesqueleto. Portanto, afim de trazer de volta a humanidade nesse processo, a conclusão do estudo propõe que o exoesqueleto industrial não seja um ponto de partida para a resolução de problemas relacionados à atividade, mas sim o ponto de chegada após direcionamento de análise e processos de concepção.

5.1. Limitações e dificuldades encontradas ao longo da pesquisa

O intuito inicial do presente estudo foi conseguir a aplicação do roteiro de entrevista dentro de empresas e através do contato inicial, recrutar diferentes funcionários afim de coletar informações de níveis hierárquicos distintos dentro de uma mesma empresa. Tal variedade de informações poderia enriquecer os pontos de vista e debates aqui discutidos, porém não houve abertura em relação a coleta de dados devido à pandemia e também a conflitos de interesse. Desta maneira, os funcionários ou ex-funcionários que aceitaram participar da pesquisa pediram para que sua imagem fosse desvinculada à representação da corporação. Embora os dados coletados tenham gerado conteúdo científico confiável, houve limitação de participantes e não foram entrevistados, por exemplo, os fornecedores e usuários finais que estão em contato direto com a tecnologia, o que gerou um número reduzido de casos.

Outra limitação foi o escopo do estudo, uma vez que se focou especificamente na questão do processo de implementação dos exoesqueletos dentro da indústria, não havendo uma análise técnica das ferramentas de mensuração que podem comprovar os benefícios do exoesqueleto, como por exemplo a análise das eletromiografias de cada modelo do exoesqueleto conforme o posto de trabalho aplicado e entre outros fatores. Sugere-se assim que estudos futuros possam fazer a parte da análise de aplicação dos exoesqueletos, afim de conversar dados técnicos com os resultados aqui apresentados.

Por último está a limitação voltada para o estudo dos robôs colaborativos e sua relação com indústria 4.0. Visto que houveram dificuldades relacionadas a pandemia e a conflitos de interesse na etapa de recrutamento de entrevistados, optou-se por excluir os robôs colaborativos como alvo de pesquisa, deixando o tema aberto a estudo afim de compreender o seu enquadramento, como é o processo de implementação e quais foram as dificuldades enfrentadas durante esse processo. Sugere-se então conduzir uma pesquisa similar a realizada no presente estudo, porém para os robôs colaborativos, buscando também a criação de um modelo teórico de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Inovação, Manufatura Avançada e o Futuro da Indústria**: uma Contribuição ao Debate sobre as Políticas de Desenvolvimento Produtivo. Brasília, 2017.

ABIMAQ – Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos. Relatório Geral Completo. São Paulo: 2018. <<http://abimaq.org.br/COMUNICACOES/2018/PROJETOS>.> Acesso em: 12 de Março, 2022.

ABRAHAMSON, E. Management Fashion. **Academy of Management Review**, v. 21, n. 1, p. 254-285, 1996.

BRAATZ, D. **Suportes de simulação como objetos intermediários para incorporação da perspectiva da atividade na concepção de situações produtivas**. 246 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

BANCES, E. et al. Exoskeletons towards industrie 4.0: Benefits and challenges of the IoT communication architecture. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p. 49–56, 2020.

BARCELLINI, F.; VAN BELLEGHEM, F.; DANIELLOU, F. **Os projetos de concepção como oportunidade de desenvolvimento das atividades**. In: FALZON, P. Ergonomia construtiva, São Paulo: Blücher, 2016.

BOSTON CONSULTING GROUP. **Industry 4.0**. 2022. Artigo (.)

CALDAS, M. P.; WOOD JR., T. Modas e modismos em gestão: pesquisa exploratória sobre adoção e implementação de ERP. In: **Encontro da associação nacional de pósgraduação e pesquisa em administração**, 23., 1999, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: ANPAD, 1999.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira**. Sondagem especial, Brasília, v. 66, abr. 2016.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria Brasileira: da perda da competitividade à recuperação?** Estudos econômicos, Brasília, n. 1, nov. 2015.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Produtividade brasileira é a que menos cresce em relação a 11 países**. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2015/02/produtividade-brasileira-e-a-que-menos-cresce-em-relacao-a-11-paises/>> Acesso em: 12 de Março, 2022.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Propostas da Indústria para as eleições 2022**. Política industrial: construindo a indústria do futuro, Brasília/ DF, ano 2022, v. 1, p. 1-70, 15 jun. 2022.

COELHO, P. M. N. Rumo à Indústria 4.0. **Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra**, p. 65, 2016.

COUTO, H; COUTO, D. **Exoesqueletos: o Futuro já começou, mas ainda de forma incompleta**. Belo Horizonte: Maccro Ergonomia, 2019.

CRUZ, Pedro. Uma proposta para avaliação do nível de preparo da indústria nacional à luz do Paradigma 4.0. XXXVII Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 2017.

CUNHA, Liliana et al. Exploring the status of the human operator in Industry 4.0: A systematic review. Porto, Portugal: **Frontiers**, 2022.

DAHMEN, Christian; CONSTANTINESCU, Carmen. Methodology of Employing Exoskeleton Technology in Manufacturing by Considering Time-Related and Ergonomics Influences. **Applied sciences**, ano 2020, p. 1-13, 27 fev. 2020.

DANIELLOU, F. Métodos em Ergonomia de Concepção: análise de situações de referência e a simulação do trabalho. In: DUARTE, F. (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002. 29–33 p.

_____. Introdução. Questões epidemiológicas acerca da Ergonomia. **A Ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos (pp. 1-18)**. São Paulo: Edgar Blücher, 2004

_____. Simulating Future Work Activity is not Only a Way of Improving Workstation Design. **@ctivités**, v. 4, n. 2, p. 84–90, 2007b.

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.

DICHTER, E. Why we dress the way we do. The psychology of fashion. **Graduate School of Business Administration: Lexington NYU Books**, 1995.

EUROPIAN UNION. **Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry**. Manuscript, Luxembourg: Publications Office of the European Union, ano 2021, p. 1-48, 12 jan. 2021.

FILARDI, F. et al, Avaliação da influência dos modismos gerenciais na adoção de ferramentas de gestão nas redes de supermercados de Santa Catarina. **Artigo-Administração Geral (pp. 131-143)**, REGE, São Paulo – SP, Brasil. 2010.

FIRJAN. **Indústria 4.0: Panorama da Inovação**. 2016.

GUÉRIN, F. et al, Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia. **Editora Edgard Blücher**. São Paulo, 2001

HERČKO, J.; ŠTEFÁNIK, A. Komponenty a princípy konceptu Industry 4.0. **ProIN: bimonthly CEIT.-ISSN**, n. May 2015, 2015.

KAASINEN, E. *et al.* **Smooth and Resilient Human–Machine Teamwork as an Industry 5.0 Design Challenge**. Sustainability, Switzerland, ano 2022, p. 1-20, 26 fev. 2022.

KADIR, B. A.; BROBERG, O. Human well-being and system performance in the transition to industry 4.0. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 76, n. March, p. 102936, 2020. KAGERMANN. Germany - INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 WG**, n. April, p. 82, 2013.

MARKOVÁ, P. et al. Human factor in industry 4.0 in point of view ergonomics in slovak republic. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, v. 30, n. 1, p. 284–289, 2019.

MIKULIĆ, I.; ŠTEFANIĆ, A. The adoption of modern technology specific to industry 4.0 by human factor. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, v. 29, n. 1, p. 941–946, 2018.

PARIBELLO, Almir et al. Exoesqueletos de membros inferiores e as dificuldades de sua utilização na linha de montagem automotiva: A visão da ergonomia. **Revista Ação Ergonomica**, [S. l.], ano 2020, v. 14, p. 1-9, 5 fev. 2023.

PEARCE, Margaret et al. Optimizing Makespan and Ergonomics in Integrating Collaborative Robots Into Manufacturing Processes, **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, ano 2018, v. 15, ed. 4, p. 1-13, 1 fev. 2018.

PEREIRA, Adriano. **Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, 2018.

RABARDEL, P. **Les hommes et les Technologies, approche cognitive des instruments contemporains**. Paris: Armand Colin, 1995.

RAPOSO, Dandara. **Indústria 4.0: realidade, mudanças e oportunidades**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. Edipro. 2016.

SOUZA, M. T. *et al.* **Revisão integrativa: o que é e como fazer.** Einstein, Três Lagoas (MS), Brasil, ano 2010, v. 1, 8 jun. 2010. Enfermagem, p. 1-5.

TERSSAC, G, de. **Autonomie dans le travail.** Paris: PUF, 1992.

WESSLÉN, J. Exoskeleton Exploration. **Jönköping University, School of Engineering, JTH, Industrial Engineering and Management**, p. 46, 2018.

WOOD JR., T.; PAES DE PAULA, A. P. Popmanagement. In: **Encontro da associação nacional de pósgraduação e pesquisa em administração**, 25., 2001, Campinas; Rio de Janeiro. Anais... Campinas; Rio de Janeiro: ANPAD, 2001. p. 1-15.

XU, X. *et al.* **Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception.** Journal of Manufacturing Systems, Elsevier, ano 2021, 18 out. 2021. Manufacturing Engineering, p. 530-535.

APÊNDICES

APENDICE 1 – Processo da primeira Revisão Bibliográfica Sistemática - CAPES - Cafe

A primeira revisão bibliográfica sistemática (RBS 1) foi realizada a partir da Base de dados do Portal da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior), a qual reúne periódicos de diversas áreas do conhecimento.

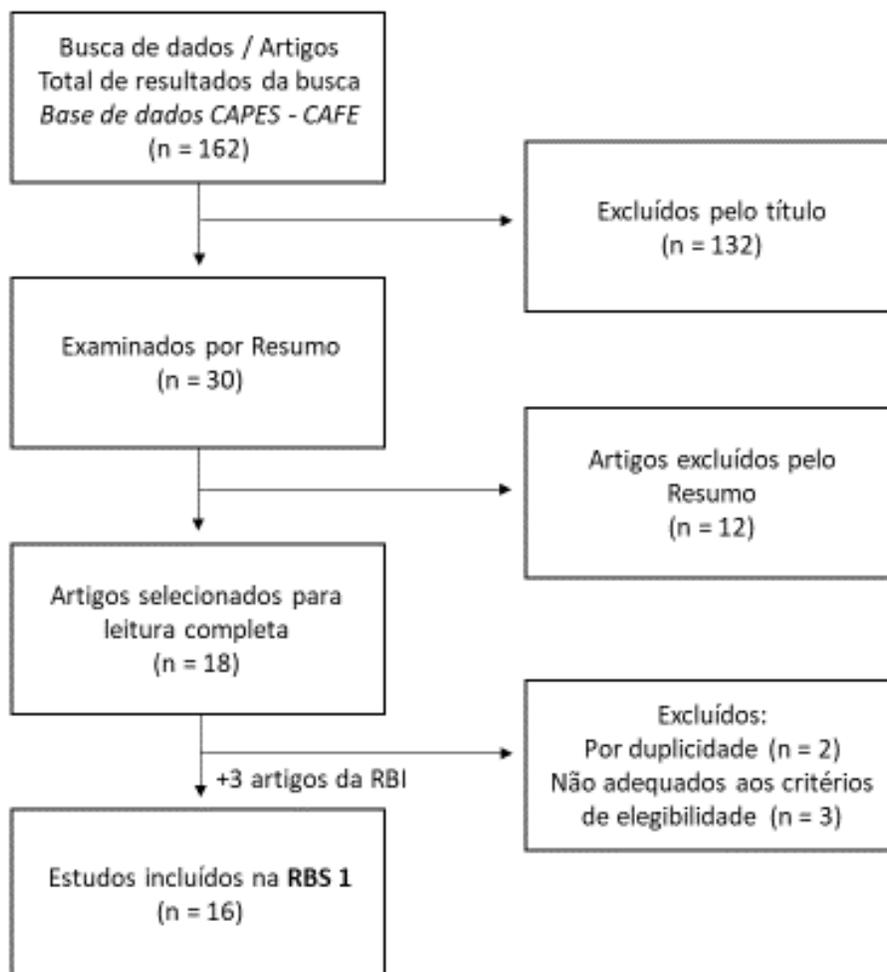
Foram utilizadas, através do campo de pesquisa avançada, as seguintes strings: Industria 4.0, Ergonomia e Fatores Humanos. As buscas foram realizadas entre 29/06/2020 à 27/01/2022 e foram selecionados artigos publicados entre 2012 e 2022.

Neste primeiro momento, foi-se utilizada a aba “Acesso Café” nos periódicos CAPES, em “Buscar Assunto”, “Busca Avançada” e com os filtros de busca estabelecidos para apresentar os resultados de busca com as palavras-chave no título. As palavras-chave que teriam que estar presentes no título eram “Industry 4.0” AND “Ergonomics” e “Industry 4.0” AND “Human Factors”. A partir disso obteve-se 162 resultados, dos quais 132 foram excluídos pelo título. Com isso restaram 30 artigos, dos quais 12 foram excluídos pela leitura dos resumos, resultando em 18 artigos elencados para a leitura completa. Com a leitura completa foram excluídos 3 artigos por não estarem adequados aos critérios de elegibilidade, 2 artigos por duplicidade e adicionou-se 3 artigos da Revisão Bibliográfica Inicial (RBI). Finalmente, chegou-se a 16 estudos incluídos na RBS 1.

Esta busca, em particular a RBS 1, auxiliou a definir como foco principal da pesquisa os Robôs Colaborativos e Exoesqueletos, mantendo a pesquisa aberta para novas tecnologias que venham a ser localizadas, mas possibilitando um aprofundamento desde o início nestas já identificadas.

A figura 22, apresentada na sequência, ilustra o processo da primeira revisão bibliográfica sistemática.

Figura 38. Processo da primeira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 1)



Fonte: Autor

APENDICE 2 – Processo da segunda Revisão Bibliográfica Sistemática - CAPES - Cafe

A segunda revisão bibliográfica sistemática (RBS 2) também foi realizada a partir da Base de dados do Portal da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior) e envolveu buscas sobre os Robôs Colaborativos e Exoesqueletos, identificados na RBS 1.

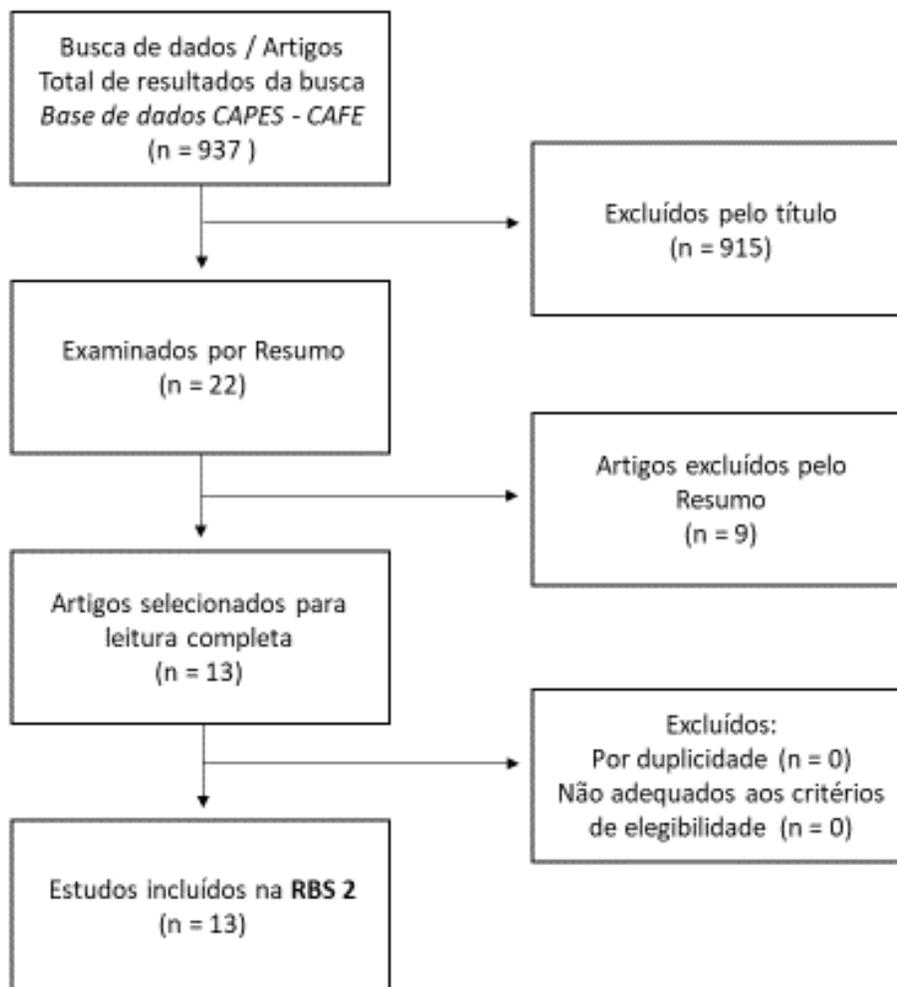
Foram utilizadas, através do campo de pesquisa avançada, as seguintes strings: Industria 4.0, Robôs Colaborativos, Exoesqueletos, Ergonomia e Fatores Humanos. As buscas foram realizadas entre 27/01/2022 à 29/05/2022 e foram selecionados artigos publicados entre 2012 e 2022.

Foi-se utilizada a aba “Acesso Cafe” nos periódicos CAPES, em “Buscar Assunto”, “Busca Avançada” e com os filtros de busca estabelecidos em “Qualquer Campo”. As palavras-chave que teriam que estar relacionadas eram “Industry 4.0” AND “Collaborative Robots”, “Industry 4.0” AND “Exoskeletons”, “Ergonomics” AND “Collaborative Robots”, “Human Factors” AND “Collaborative Robots”, “Ergonomics” AND “Exoskeletons”, “Human Factors” AND “Exoskeletons”. A partir disso obteve-se 937 resultados, dos quais 915 foram excluídos pelo título. Com isso restaram 22 artigos, dos quais 9 foram excluídos pela leitura dos resumos, resultando em 13 artigos elencados para a leitura completa. Com a leitura completa nenhum artigo foi excluído. Finalmente, chegou-se a 13 estudos incluídos na RBS 2.

Esta busca, em particular a RBS 2, auxiliou a compreender a utilização, implantação e propósito de tais tecnologias.

A figura 23, apresentada na sequência, ilustra o processo da segunda revisão bibliográfica sistemática RBS 2.

Figura 39. Processo da segunda Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 2)



Fonte: Autor

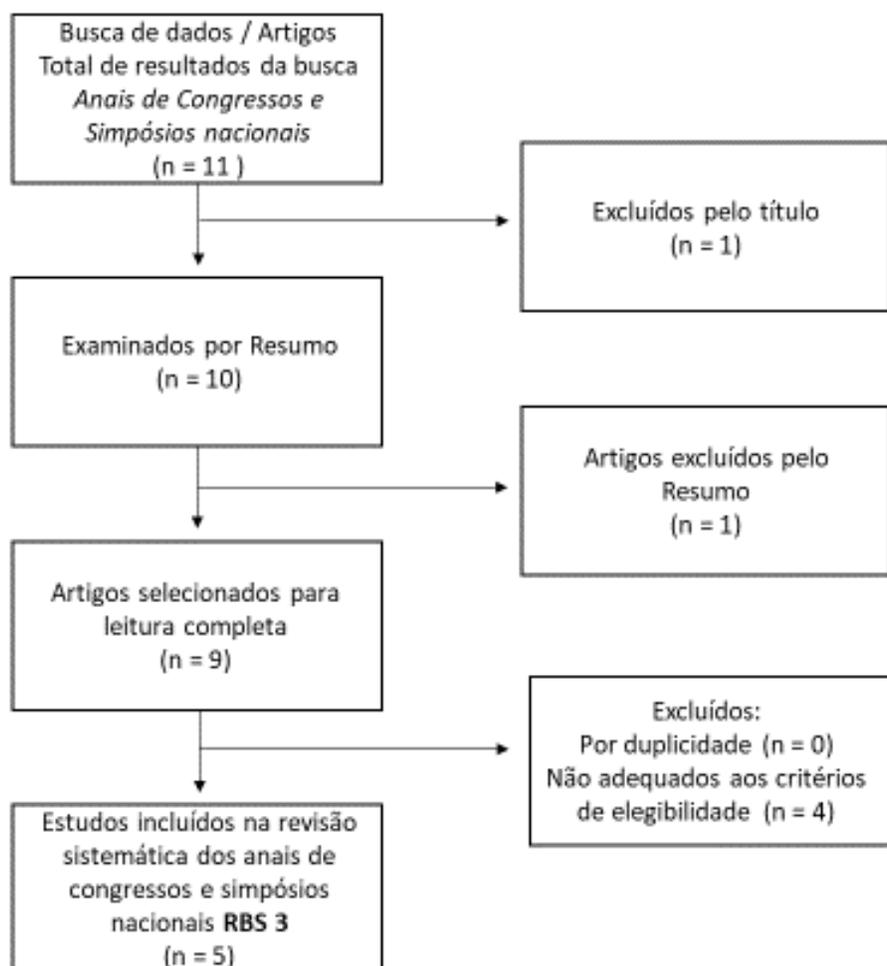
APENDICE 3 – Processo da Terceira Revisão Bibliográfica Sistemática - Congressos e Simpósios nacionais

A terceira revisão bibliográfica sistemática foi realizada a partir dos Anais de Congressos e Simpósios nacionais, bem como ABERGO, ENEGEP, SIMPEP, COBENG, CONEMI, CONEM e SBR. Foram utilizadas, através do campo “Pesquisar trabalhos”, as seguintes strings: Industria 4.0, Ergonomia, Fatores Humanos e Exoesqueletos. As buscas foram realizadas entre 27/01/2022 à 09/03/2022 e foram selecionados artigos publicados entre 2012 e 2022. Idem, apresentar o método na seção sobre metodologia.

Foi-se utilizada a aba “Pesquisar”, com a área de estudo estabelecida em “Engenharia do Trabalho”. As palavras-chave citadas acima foram introduzidas individualmente no campo de pesquisa e foi-se feita uma varredura em todos os resultados envolvendo a palavra-chave. A partir disso obteve-se 11 resultados envolvendo todos os anais, dos quais 1 foi excluído pelo título. Com isso restaram 10 artigos, dos quais 1 foi excluído pela leitura dos resumos, resultando em 9 artigos elencados para a leitura completa. Com a leitura completa foram excluídos 4 artigos por não estarem adequados aos critérios de elegibilidade. Finalmente chegou-se a 5 estudos incluídos na segunda revisão bibliográfica sistemática.

A figura 24, apresentada na sequência, ilustra o processo da terceira revisão bibliográfica sistemática RBS 3.

Figura 40. Processo da Terceira Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS 3)



Fonte: Autor

APENDICE 4 – Roteiro de entrevista da entrevista semiestruturada – Versão Final Validada



Roteiro para Estudo de Caso – Cargo Administrativo

DATA ____/____/____ LOCAL: _____ PESQUISADOR: _____ TEMPO: _____

Seção A - Entrevistado

| | |
|----------------|--|
| 1. Nome | |
| 2. Cargo | |
| 3. Experiência | (profissional) (na empresa/cargo) |

OBS: lembrar de perguntar quanto tempo atua diretamente com o tema da pesquisa

Seção B - Empresa

| | |
|---|---|
| 4. Porte da empresa | |
| 5. Tecnologia 4.0 utilizada/ Vendida | () Robô Colaborativo (Que trabalham ao lado dos operadores) () Robôs Comuns (Com separação dos operadores e contém sistemas de segurança) () Exoesqueleto (Passivo sem atuadores/ motores ou ativo com atuadores/ motores) |
| 6. Descrever, além das tecnologias do item 5, quais as tecnologias digitais utilizadas na empresa | () big data, () internet das coisas/ IoT; IoS, () cloud computing/ computação em nuvem () Simulações, () manufatura aditiva, prototipagem rápida e impressão 3D, () realidade virtual e aumentada, () monitoramento e controle remoto, () cyber segurança, () cyber-physical system, () outras tecnologias associadas. Quais? Em quais áreas? Quais dessas tecnologias digitais são utilizadas para apoiar a utilização de COBOTs/ Exoesqueletos? () big data, () internet das coisas/ IoT; IoS, () cloud computing/ computação em nuvem, () simulações, () manufatura aditiva, prototipagem rápida e impressão 3D, () realidade virtual e aumentada, () monitoramento e controle remoto, () cyber segurança, () cyber-physical system, () outras tecnologias associadas () Nenhuma |

Seção C – Indústria 4.0 e Ergonomia

| | |
|-------------------------------------|---|
| 7. Definição de Indústria 4.0 | Para você o que é Indústria 4.0? Quais são as oportunidades e desafios que ela pode trazer para uma empresa? |
| 8. Definição de Ergonomia na I. 4.0 | Para você, de que forma a Indústria 4.0 pode interferir na área de ergonomia? () Não Sabe () Sabe – Resposta: |

Seção D – Tecnologias 4.0 (COBOTS / Exoesqueletos) x Empresa

| | |
|---|---|
| 9. Informações prévias sobre as tecnologias | Quais informações você tinha sobre estas tecnologias antes da aquisição e aplicação? Como você obteve tais informações? () Empresa () Funcionários () Colegas () Internet () Fornecedor da tecnologia () outras fontes – Quais? |
| 10. Aplicação da tecnologia | Em qual setor / posto de trabalho / operação a tecnologia foi aplicada? Como se deu a escolha deste setor / posto de trabalho / operação para a aplicação dessa tecnologia? Houve mudança de estrutura organizacional para a implementação dessa tecnologia? () Sim – Qual mudança e áreas envolvidas () Não |
| 11. Tempo de adoção ou início da implementação dessa tecnologia | Quando a empresa começou a Introduzir/ Implementar essa tecnologia? Qual a maturidade da implementação? () só planejando () começo de implantação () já com alguma experiência () experientes a ponto de sermos consultores de outras unidades da empresa |
| 12. Benefícios e dificuldades da implementação para a empresa | Quais foram os principais benefícios advindos da aplicação deste equipamento? Quais foram as principais dificuldades de aplicação deste equipamento? Como foram contornadas? Suas expectativas foram atendidas? () Sim () Não |

OBS item 9: opções para lembrete - benchmarking com outras empresas, determinação da matriz, problemas de saúde ocupacional com operadores, etc. Serve de lembrete para puxar respostas, mas sem induzir

Seção E – Tecnologias 4.0 (COBOTS / Exoesqueletos) x Trabalhador

| | |
|--|---|
| <p>13. Motivos para a aquisição das tecnologias 4.0</p> | <p>Qual foi o principal motivo para vocês terem comprado essa tecnologia?</p> <p>() redução do índice de lesão dos trabalhadores () Diminuição da taxa de absenteísmo () Aumentar a produtividade () Para passar uma imagem de empresa tecnológica () Para dar início a uma mudança organizacional () Melhorar o bem estar dos funcionários () Outros motivos – Quais?</p> |
| <p>14. Feedback dos trabalhadores frente a tecnologia 4.0</p> | <p>Qual foi o feedback dado pelos trabalhadores/ Qual o seu feedback em relação a interação com a tecnologia no dia a dia de trabalho?</p> <p>() Ótimo () Bom () Mediano () Ruim</p> |

Seção F – Situação Atual da tecnologia 4.0 na empresa

| | |
|--|--|
| <p>15. Ociosidade de Equipamento</p> | <p>A empresa continua utilizando os equipamentos?</p> <p>() Sim () Não – Porque?</p> |
| <p>16. Recomendação da Tecnologia</p> | <p>Você recomendaria a utilização destes equipamentos para outras unidades da sua empresa ou para empresas similares?</p> <p>() Sim () Não Porque?</p> <p>A empresa se considera capacitada a recomendar/ ensinar outros setores da empresa sobre as tecnologias?</p> <p>() Sim () Não Porque?</p> <p>Quais requisitos você colocaria para uma empresa adquirir este equipamento?</p> <p>() Entender sobre a tecnologia antes () realizar um bom plano de implementação () Investir em uma mudança enraizada do modelo de negócio para a era 4.0 () Implementar a tecnologia 4.0 apenas por setor () Investir em treinamentos para os funcionários antes () Apresentar a tecnologia para os funcionários () Outros – Quais?</p> |

Seção G – Considerações Finais

| | |
|--|---|
| <p>18. Informações adicionais</p> | <p>Gostaria de adicionar alguma informação?</p> |
|--|---|

COMENTÁRIOS E OBSERVAÇÕES:

APENDICE 5 – Transcrição Caso A

Entrevistado A

Cargo: Analista de Ergonomia

Tecnologia: Exoesqueleto de membro inferior passivo

Roteiro de Entrevista:

Me conte um pouco sobre como foi a sua experiência com a tecnologia nos locais onde você trabalhou.

Resposta: Já tive a oportunidade de testar alguns exoesqueletos, mas o que eu mais tive proximidade e foi testado na produção foi o exoesqueleto de membros inferiores. O de membros superiores eu já usei, já vesti, já provei, já fiz um ou dois testes, já acompanhei a implementação, mas o que eu posso te falar com mais propriedade são os de membros inferiores para a posição sentada. Em relação aos COBOTs, eu nunca tive a experiência de trabalhar.

Em relação a essa experiência que você teve com os exoesqueletos, tinha alguma tecnologia 4.0 vinculada a utilização deles?

Resposta: nenhuma outra tecnologia 4.0 foi usada para apoiar o exoesqueleto

Para você o que é indústria 4.0 e quais são as oportunidades e desafios que ela pode trazer para uma empresa?

Resposta: Para mim, que sou fisioterapeuta, entendo que a indústria 4.0 vem com essa interação maior de robôs com seres humanos, com o robô realmente pensando e trabalhando junto e como são robôs mais inteligentes, isso gera desafios para as empresas. Eu acho que, como tudo na teoria acaba sendo mais fácil, quando a gente vai implementar na prática, no nosso dia a dia, tem muitas

características que são intrínsecas aos processos, envolvem várias habilidades, então eu acho que como tudo novo existe esse desafio da implementação e adaptação.

Para você, de que forma a indústria 4.0 pode interferir na área da ergonomia?

Resposta: *Eu entendo que pode interferir positivamente, ajudando em projetos, análises estatísticas, projetos de melhoria. Eu acredito que os robôs realmente podem auxiliar em atividades e que cada vez mais os projetos tem levado em consideração a facilidade de utilização das pessoas, então, por exemplo, um robô colaborativo é algo simples de um operador trabalhar, o operador não precisa ficar pensando muito para interagir com um robô então isso facilita a atividade. Além disso, tem toda a inteligência dos robôs, softwares e sistemas que podem ajudar a gente no nosso dia a dia de trabalho também.*

Quais informações você tinha sobre os exoesqueletos antes da aquisição e a aplicação dessa tecnologia dentro da empresa que você trabalhava?

Resposta: *Eu tinha pouca informação, foi por isso que eu comecei a estudar um pouco mais sobre ela para quando fosse aplicar na prática. Mas o que eu sabia mais era relacionado a reabilitação neurológica e, principalmente, na utilização militar, então a gente sabe que o propósito do exoesqueleto começou dessa forma. Isso era o que eu conhecia, sabia que era um dispositivo para auxiliar em movimento, na força, mas era muito fora da minha realidade de trabalho.*

Como você obteve tais informações?

Resposta:

(x) Empresa. Um dos exoesqueletos veio da Fiat, então através daquela matéria que saiu no Jornal sobre eles e que estavam começando a implementação dos exoesqueletos de membros superiores aqui no Brasil.

(x) Internet

(x) Outras – Quais? Pesquisas isoladas

Em qual setor/ posto de trabalho/ operação essa tecnologia foi aplicada?

Resposta: *A gente aplicou na montagem automotiva, em diversos postos na verdade. A tecnologia foi testada em diversas linhas, porém ela não foi implementada em nenhuma. O teste foi para ver se seria possível deixa-la em algum posto com atividades específicas.*

Como se deu a escolha desse setor para aplicação?

Resposta: *A gente escolheu pelo tipo de atividade, então como nosso exoesqueleto era de membro inferior, pensamos em atividades que os operadores conseguissem trabalhar em pé e sentado, então era de acordo com a característica da atividade.*

Houve alguma mudança de estrutura organizacional para implementação dessa tecnologia?

Resposta:

(x) Não. A gente não chegou a implementar, apenas fizemos testes para implementação. Talvez precisasse de alguma mudança organizacional no sentido de revezamento de postos de trabalho, ou alguma coisa nesse sentido para que as pessoas conseguissem trocar de turnos e trocar o exoesqueleto. Também seria necessário adquirir mais exoesqueletos por conta da quantidade de pessoas por linha. Para teste foram adquiridos dois exoesqueletos e com eles a gente estava estudando como que os operadores iriam trocar isso, porque eles faziam revezamento a cada uma hora, então para você entrar no posto você tem que ter o seu próprio dispositivo para utilizar. Mas como a tecnologia não foi implementada não precisou fazer nenhuma mudança organizacional nesse sentido. Quando a empresa começou a introduzir a tecnologia em 2018 ou 2019 eles já tinham comprado os dispositivos, feito alguns testes, tentado implementar e não havia dado certo. Quando eu entrei eu tentei reativar e testar isso tudo de novo, mas não de certo de novo

Qual a maturidade de implementação da tecnologia na empresa?

Resposta:

(x) Já com alguma experiência. A gente chegou a testar e deixou o pessoal utilizando na linha de montagem por algum tempo.

Quais foram os principais benefícios advindos da tentativa de implementação da tecnologia que vocês identificaram?

Resposta: *A possibilidade de alternar uma postura em pé e sentado. Esse era o principal benefício acho, não consigo identificar nenhum além desse.*

Quais foram as principais dificuldades da aplicação desse equipamento? Como foram contornadas?

Resposta: *A gente teve muitas dificuldades de adaptação. Eu lembro que algumas pessoas se queixavam da sensação de cair para trás, sensação de calor, cansaço de membros inferiores ao permanecer sentado, desconforto nos glúteos por ficarem apoiados por muito tempo. Como ele é de membros inferiores e tem um pé de borracha esse pé podia bater no chão ao andar e por isso tinha que estar bem vestido. Em relação ao processo, a gente levantou algumas coisas, como por exemplo, quando o funcionário estava na postura sentada o exoesqueleto acabava restringindo alguns movimentos. Outro exemplo é que os operadores avançam de acordo com a linha de produção, então quando ele estava sentado a linha avançava e ficava difícil dar a passada para o lado sentado, então era melhor ficar em pé. Também tinha uma linha que tinha uma esteira e os funcionários corriam o risco de encaixar o pé emborrachado na esteira. Outro fator é que ficar na postura sentada também acabava dificultado o alcance do operador, o que se fosse feito em pé seria mais fácil. A gente preferia deixar um banquinho com rodinha do que fazer as pessoas usarem os exoesqueletos e por isso levantamos mais dificuldades do que benefícios.*

Suas expectativas foram atendidas em relação à tecnologia?

Resposta:

(x) Não. Eu não tinha muitas expectativas, porque eu já conhecia um pouco da tecnologia

Qual foi o principal motivo para vocês terem comprado essa tecnologia?

Resposta:

(x) Melhorar o bem-estar dos funcionários, porque era algo que eles estavam tentando implementar para conseguir a alternância postural, mas às vezes o pessoal pensa em coisas muito complexas ao invés de pensar no simples, como colocar um banquinho.

(x) Passar a imagem de uma empresa tecnológica

Qual foi o feedback geral dado pelos Trabalhadores em relação a interação com a tecnologia no dia a dia de trabalho?

Resposta: *(x) Mediano*

A empresa continua utilizando os equipamentos?

Resposta:

(x) Não, por que não foi viável para o nosso processo produtivo, acaba que o equipamento mais atrapalha do que ajuda. Além disso a gente tinha outras dificuldades, por exemplo, é um equipamento caro e as pessoas precisam fazer revezamento entre os postos de trabalho e são mais de 18 postos de trabalho, portanto teríamos que comprar vários equipamentos diferentes para todas as pessoas e eles teriam que fazer essa troca, além de ter que trocar o tecido do exoesqueleto para cada funcionário também.

Você recomendaria a utilização desses equipamentos para outras unidades da sua empresa ou para empresas similares?

Resposta:

(x) Sim. Eu acho que se você testar, ver todas as possibilidades, estudar junto com a engenharia todas as melhorias e tudo mais, e se der repente um exoesqueleto é única opção e vai realmente ajudar a pessoa. Eu vi alguns, aqueles exoesqueletos para flexão de tronco, que até chegamos a testar, então eu acho que talvez esse ajude em algum tipo de atividade e acabe dando um apoio, mas eu também não testei muito para saber, pois fizemos um teste e não foi para frente. Mas eu acho que só se tiver uma atividade muito específica, uma situação que uma pessoa se adaptou. Por exemplo, eu fiz um benchmarking na Fiat para ver e lá tem alguns postos de trabalho em que realmente conseguiram implementar. As pessoas estão usando os exoesqueletos e a empresa faz o acompanhamento, faz medições próximas aos trabalhadores para orienta-los, então eu acho que eu recomendaria caso fossem realizados esses testes, se eles tivessem dado certo e se fosse a única alternativa encontrada depois de estudar muito. Agora, se a gente tem outras opções, por exemplo substituir por um banquinho ou fazer realmente um projeto de melhoria de mudança de posto de trabalho, de mudança de Tecnologia, enfim, seja lá o que for, eu iria para esse lado, porque acaba que ele tem uma coisa mais voltada para operador, que faz ele pensar que tem que tomar cuidado.

A empresa se considera capacitada a recomendar/ ensinar outros setores da empresa sobre essas tecnologias?

Resposta:

(x) Sim, para os setores aí eu acho que a gente pode ensinar a partir da nossa experiência com esse tipo de exoesqueleto específico, tipo de atividade que a gente aplicou, tanto é que eu fiz uma apresentação na ABERGO dos resultados do estudo de caso e testes que realizamos na empresa. Então eu acho que dá sim para ensinar outras pessoas, outros setores.

Quais requisitos você colocaria para uma empresa adquirir este equipamento?

Resposta:

(x) Entender sobre a tecnologia antes

(x) outros – Quais? Fazer Testes Piloto dentro dos setores ou dos postos e a partir daí testar com tecnologias de diversos fornecedores, diversos equipamentos, diversas pessoas, diversos turnos, diversas épocas do ano, por que a temperatura faz diferença. No calor você teria uma vestimenta a mais além do uniforme e EPIs e são coisas que fazem diferença no bem-estar dos funcionários.

APENDICE 6 - Transcrição Caso B

Entrevistado B

Cargo: Analista de Ergonomia

Tecnologia: Exoesqueletos

Roteiro de Entrevista:

Me conte um pouco sobre a sua experiência com exoesqueletos.

Resposta: *Lucas, é o seguinte, a gente tem hoje no Brasil equipamentos de primeira e segunda geração e estamos caminhando para os equipamentos de terceira geração. A diferença entre esses equipamentos é que os de primeira geração são mais robustos, mais metálicos, com peso agregado maior e com menos mobilidade, então a gente vê equipamentos para coluna de primeira geração com aproximadamente 6 kg, os de ombro com aproximadamente 5 kg e os de membro inferior com aproximadamente 7 kg, 3 em cada em cada perna. Então esses são as primeiras linhas. Já os de segunda geração são equipamentos de uma linha com metais mais nobres, no sentido de mais leves, em alumínio Náutico, fibra de carbono, esse tipo de coisa. Observa-se esses equipamentos tem maior flexibilidade e maior adaptabilidade aos processos.*

Falando um pouco sobre a características dos equipamentos, o grande case dele não é na área industrial. Esses equipamentos, os exoesqueletos, não são desenvolvidos para área industrial, mais de 70% desses equipamentos estão voltados para área médica e tem foco na reabilitação e não em uma pessoa saudável que tá numa linha de produção, haja vista que a entrada desse equipamento na linha de produção vai um pouco contra o princípio da ergonomia, de adaptar o posto à pessoa, então se eu tenho, por exemplo, uma atividade de baixo do carro o ideal é que eu gire o carro e não que eu coloque a pessoa com o braço elevado vestindo o exoesqueleto embaixo dele. Tem que adaptar o posto para todos e não sujeitar a pessoa a uma condição de se adaptar a ele, então esse é um ponto interessante referente aos equipamentos.

Como via de regra geral, a gente observou que os equipamentos são funcionais em qualquer Case em indústria em que o trabalhador exerce mais de um minuto de contração estática.

Isso responde um pouco a sua pergunta lá do início, poxa, por que a gente vê que esses equipamentos têm uma vida útil muito curta? Por isso, porque muitas das vezes são colocados em postos de trabalho dinâmicos e que não se adaptam as características. A gente vê que quando você tem menos de um minuto de contração estática, o movimento é praticamente perdido e o apoio que o exoesqueleto tem é muito superficial, então esse é um ponto interessante a ser comentado. Outro fator que permeia esse tema é a questão de ser uma inovação, e sendo uma inovação, tem todo o glamour e todo um entusiasmo por trás dessa tecnologia, então observa-se que é preciso um período de análise de aproximadamente 15 dias. Períodos muito menores que esses são perigosos, pois os resultados são muito positivos ou são muito negativos, porque nesse período de 15 dias você tem adaptação neuromuscular, então realmente o empregado ou trabalhador ele só vai ter uma percepção boa desse tipo de equipamento na segunda para terceira semana. A primeira semana é só entusiasmo, onde o trabalhador normalmente fala que gostou, que o equipamento é muito favorável, mas que na verdade ele só está empolgado por estar testando uma inovação, que é o exoesqueleto.

Além disso, o que dá para falar é que os exoesqueletos para coluna tem evoluído muito e com muita rapidez. Já trabalhei com equipamentos espanhóis, americanos, italianos e existem empresas no Brasil também desenvolvendo. Todos esses equipamentos envolvem uma velocidade grande de adaptação, e os princípios de funcionamento desses equipamentos é o mesmo, que é a retirada do esforço da coluna transferindo para região da musculatura de vastos na perna. Associado a isso, o que eu posso te falar também é que o exoesqueleto para membro superior é um grande desafio, pois eu ainda não me deparei com modelos desse equipamento que sejam funcionais, confortáveis. Eu vejo um esforço gigantesco das corporações em fazer esses equipamentos se enquadrarem dentro da indústria, envolvendo muita gente competente trabalhando nisso, dentro e fora do país. Tem empresas que são líderes de mercado em órteses e próteses que suportam os ombros, mas a gente ainda não tem um equipamento totalmente adequado para o cenário da indústria que a gente vê, porque estamos falando de uma articulação de ombro que é a articulação de maior amplitude que você tem no corpo, com graus de amplitude muito grandes em todas as os planos, então se você não partir para um equipamento muito funcional, ele acaba incomodando a longo prazo. Então, a gente vê que os equipamentos

melhoraram, mas nesse momento eu ainda não vejo para ombro ou para cintura escapular, um equipamento que seja totalmente funcional.

Outra coisa que eu acho que pode ser uma boa prática para quem trabalha com este tipo de equipamento é realizar avaliação durante 15 dias. O início, meio e final da jornada são três momentos de avaliação, porque em alguns pontos o empregado pode chegar com uma dor ou desconforto que no final do dia vai aparecer como uma coisa mais séria. Na verdade, não é o equipamento a causa, ali ele só tá contribuindo para o fator que já existia. Outra coisa que é uma crítica aos fornecedores das empresas é que a etapa de entrada com esse equipamento no chão de fábrica é uma das etapas mais importantes e ela vai influenciar diretamente no resultado, mas às vezes a gente vê alguns fornecedores queimando etapas. Outro ponto é, para que você vai colocar um equipamento desse numa pessoa saudável, porque no caso de deficientes existe uma alteração, seja cognitiva seja músculo-esqueléticas, seja de propriocepção, entre outros que poderia justificar o uso. Para colocar um equipamento em uma pessoa saudável é extremamente importante uma avaliação biomecânica prévia, porque através dela você consegue saber se aquela pessoa que vai usar o equipamento tem alguma frouxidão ligamentar, síndrome de dominância muscular, algum encurtamento, alguma alteração morfológica que irá interferir. Te dou um exemplo, imagina que você tenha um funcionário que tem uma escoliose com cinco graus, o que é completamente normal, o exoesqueleto pode desencadear uma dor nele porque o equipamento não é um equipamento voltado para terapia. Eu brinco que o exoesqueleto não faz fisioterapia, ele não corrige postura, ele não é feito para mudar biomecânica, pelo contrário, quando você acha uma pessoa com uma alteração pequena você ajusta o equipamento para aquela alteração. Se você não conhece as alterações do indivíduo, você não deve ajustar o equipamento, pois ele vai trabalhar competindo com aquela musculatura que tá em sobrecarga, isso só por si já vai gerar um quadro algico no trabalhador, então é muito importante esse tipo de conotação.

Outros pontos, como por exemplo, falando na etapa de desconforto, a gente sabe que o equipamento é uma estrutura que está próximo ao corpo, por mais que ela esteja bem ajustada, próxima do centro de massa, você tem uma condição em que mesmo assim existe um contato dessa estrutura com o uniforme, com a pele do trabalhador e isso pode gerar um desconforto térmico. É um ponto que pode aparecer em algumas pesquisas, por que o empregado ele trabalhava em uma

condição e agora está sendo modificado para outro cenário. Então esse é um ponto importante que deve ser levado em consideração, pois às vezes ele tem uma queixa sobre o equipamento, ele quer te falar do desconforto térmico, mas ele não relaciona aquele incomodo como o próprio desconforto térmico, ele relaciona como outra coisa.

Outro tema interessante é a condição referente ao tempo de colocação e retirada. Isso precisa ser contabilizado na atividade que a pessoa vai fazer, se ela inicia a jornada de trabalho em qualquer empresa às 8 horas, ela não vai estar vestida com o equipamento às 8 horas e sim às 8:05. Se ela for bem treinada e se estiver numa linha de esteira Independente, esses 5 minutos podem representar uma fatia pequena da sua produção que deixou de ser feita. Então tem que ter alguém às 8 horas para assumir a atividade dessa pessoa para que as 8:05 ela inicie a jornada vestindo o equipamento. Então isso também precisa ser adicionado nessa conta, esse ajuste de quem vai fazer o trabalho até que o operador esteja disponível para começar

Eu já vi organizações que consideram os exoesqueletos como um EPI mas nenhum fabricante recomenda essa classificação, nem mesmo o Ministério do Trabalho, por que ele não tem essa característica. Para isso é necessária a apresentação de um certificado de aprovação. Ele é um equipamento muito novo, então no meu entendimento, não deveria ser classificado assim. E aí tem outro fator que precisa ser levado em consideração, que é o fator de revezamento, você tem o revezamento que pode reduzir o risco ergonômico e ajudar o empregado a desenvolver a atividade e garantir que ele não tenha um posto crítico. Para mim não é interessante que só uma pessoa saiba fazer essa atividade, porque o dia que um funcionário faltar surge a dificuldade de cumprir a mesma atividade, então coloca-se outras pessoas para fazer o trabalho com ele.

Tem também o revezamento onde o funcionário pode fazer uma atividade de risco ergonômico maior e outro uma atividade com risco ergonômico menor. A partir disso esses funcionários podem trocar de atividade entre eles a cada x tempo, garantindo uma condição ergonômica que reduza o risco de adoecimento. Essa é outra forma, então automaticamente ao entrar com o equipamento a tendência é parar com esse revezamento que é uma conquista dos trabalhadores, então eu já vi organizações que pegam biotipos parecidos e conseguem resolver o problema. Com um Biotipo parecido entre funcionários, consegue-se fazer um revezamento do equipamento sem grandes modificações no mesmo. Haja vista que existem partes do equipamento

que tem contato diretamente com o corpo é necessária a substituição desses componentes, então, por exemplo, é o que eu vi em algumas organizações, onde você tem o seu kit, eu tenho o meu, então a gente faz as trocas próximos do horário de almoço e que não tem interrupção no processo. Você vai almoçar e volta na atividade que estava, eu vou almoçar e volto na sua atividade com o exoesqueleto, então isso a gente entende que é algo que pode ser praticado dentro das organizações.

Outra coisa interessante para te falar é sobre o processo de manutenção, hoje no Brasil são pouquíssimas empresas que representam o equipamento, pois esse mercado está um tanto estagnado. Não é um mercado que a gente vê o crescimento dele, no primeiro momento houve um boom, mas agora a gente tá vendo uma estagnação dele. Na minha opinião, por aplicação de equipamentos em locais errados e por não levarem em consideração esses pontos que te falei, faz com que a experiência dos empresários ou até do time do sesmt seja negativa. Eu que tive experiência com o equipamento posso te falar “Olha, tem uma empresa tal, que aplicou aquele exoesqueleto e não funcionou de jeito nenhum, então eu recomendo que não aplique”.

Então é um mercado que está estagnado e que tem poucos representantes e manutenção, por isso hoje alguns equipamentos ainda precisam de manutenção fora do Brasil, o que é uma situação bem complexa que você vai ter que envolver envio do equipamento e todo o processo de Alfândega. Quando ela não é feita no exterior, o representante vai ter que importar essa peça para que seja possível dar manutenção, fator que é importante para quem tá adquirindo o equipamento. Às vezes é importante até adquirir peças com maior fragilidade, lógico que os equipamentos que eu tenho uma experiência que não quebram com facilidade, mas existem peças que com o uso contínuo delas tem uma fragilidade maior e vão precisar sempre substituir. A minha recomendação é que se compre essas peças com um pouco mais de volume para que seja possível fazer as manutenções e que ao comprar um equipamento desse a engenharia de manutenção seja treinada para que consiga fazer a manutenção autônoma dentro das organizações e que não seja necessário enviar para o exterior. Minha recomendação é que quem compra o equipamento passe por um curso de como dar a manutenção desse tipo de equipamento.

Em relação a recomendação da tecnologia, você recomendaria os exoesqueletos para aquisição das empresas?

Resposta: *Ótima pergunta, o exoesqueleto é a última coisa que se deve colocar no posto de trabalho, então se você tá sentado numa cadeira e me falar que está querendo comprar um exoesqueleto para poder sentar, trabalhar, andar, usar como um assento na hora de almoçar eu vou falar para você não fazer isso. Primeira coisa, se você pode substituir o exoesqueleto por uma coisa simples, como uma cadeira, eu vou dizer para fazer isso, porque a cadeira é muito mais simples e você não vai precisar da participação direta do trabalhador, não vai precisar da própria concepção do entendimento dele, haja vista que ele já tem que levar em consideração a atividade do trabalho que ele já está concentrado.*

Esse exoesqueleto serve para situações onde não há nenhum tipo de solução, então se você tem uma atividade na empresa na qual não há uma solução viável do ponto de vista financeiro ou do ponto de vista técnico, do ponto de vista de produção ou está em uma situação em que essa é a única solução. Outra coisa bem interessante, esse exoesqueleto não transforma o trabalhador em super-homem, então a gente viu no início situações onde é permitido o trabalhador carregar um peso bem acima do que estava preconizado, porque agora ele tá com esse exoesqueleto. A gente até viu situações de aplicação errada, onde a pessoa tem um risco, está com o vetor de força na coluna, exercendo uma alavanca interpotente e estava utilizando o exoesqueleto para membros superiores. Então o tema estava tão fantasiado que agora esqueceram de entender que o exoesqueleto, nessas situações, não estava sendo aplicado para o lugar certo, mas estava, inclusive, piorando a condição. Eu já vi o empregado que pega um peso de 10 Kg, normalmente, e se ele colocava o exoesqueleto pegava um peso de 20 kg. Por mais que você tenha o equipamento de membro superior que sustente os braços, toda a força está na coluna, na sacro-ilíaca, então, de toda forma, você vai ter outra região sofrendo.

Outra coisa muito interessante é a aplicação do equipamento dentro do processo de várias empresas onde o investimento é mal direcionado. Eu já tive contato com algumas empresas onde você observa que existe o exoesqueleto no chão de fábrica, mas falta toda uma organização do trabalho ao redor dele. Em algumas foram feitos investimentos no valor de 40, 50, 60 mil reais dependendo do equipamento. Não é a falta do exoesqueleto em si, mas sim a falta de uma

plataforma pantográfica, de uma bancada, de um acento, uma esteira para organizar, etc. O equipamento é na verdade um alvo de destaque, mas o que precisa é trabalhar na operação em si. A gente também viu situações em que o investimento era mal direcionado no sentido de tentar solucionar o problema ergonômico com a ilusão de que o equipamento ia solucionar todos os problemas que o posto de trabalho tinha.

Em relação a essas tecnologias, você acredita que vale a pena todo esse investimento?

Pergunta: *Depende da aplicação. Não é via de regra, eu gosto muito da fala do Dr Hudson, que é uma das referências da ergonomia no Brasil, e ele cita que não é uma panaceia, que o equipamento não é solução para tudo. Realmente não é, então eu diria que o exoesqueleto funciona muito bem para cases específicos, para processos específicos. Eu não consigo enxergar empresas que vão utilizar 50 exoesqueletos, 100 exoesqueletos, eu não acho que é isso. Eu acredito que se encaixa em uma situação que não se achou solução em lugar nenhum, esse sim é um case legal em que o exoesqueleto pode ser aplicado.*

Você acha que isso aproxima as empresas, as organizações que adquirem essas tecnologias, de algo que seria considerado 4.0?

Perguntas: *Temos que desvincular, entender um pouco o que é a indústria 4.0, a internet das coisas, etc. Quando a gente fala de indústria 4.0 estamos nos referindo a sistemas autônomos auto monitoráveis, sistemas com automanutenção e tem a questão da conectividade. É mais ou menos o seguinte, você tem uma máquina, ela faz a leitura constante das condições de trabalho dela e quando, por exemplo, ela está em sobre aquecimento em alguma parte, ela faz uma comparação desse aquecimento com os dados que estão em seu histórico e dá um start para outra máquina vir dar manutenção. Essa é a indústria 4.0, o exoesqueleto não se enquadra nisso e sim como uma inovação, ninguém pode tirar essa característica dele. A gente até já viu alguns equipamentos que os fornecedores colocaram acelerômetro para tentar captar dados de movimento, mas não faz sentido frente a aplicação do equipamento. Um tempo atrás, tive a oportunidade de testar esse equipamento para saber quantos movimentos que o empregado faz por dia quais são os ângulos*

de movimento dele, mas eu já sei quantos movimentos e o ângulo de movimento deles porque eu já consigo acessar isso através da análise ergonômica do trabalho (AET). É simples e não vejo uma necessidade tão grande disso, na verdade o que é importante mesmo seria o monitoramento preventivo constante, pois garante que os processos não quebrem e mantém a sustentabilidade dos processos produtivos.