



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ERGONOMIA - PPERGO**

**CARGA FÍSICA E O USO DO EXOESQUELETO PASSIVO: INTERVENÇÃO
ERGONÔMICA NA ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA
INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO**

MÁRCIA RAISSA ARAGÃO FERREIRA PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Lopes Diniz

Recife
2024

MÁRCIA RAISSA ARAGÃO FERREIRA PEREIRA

**CARGA FÍSICA E O USO DO EXOESQUELETO PASSIVO: INTERVENÇÃO
ERGONÔMICA NA ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA
INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Profissional em Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ergonomia.

Área de concentração: Ergonomia do produto e produção.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Lopes Diniz.

Recife

2024

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Pereira, Márcia Raissa Aragão Ferreira.

Carga física e o uso do exoesqueleto passivo: intervenção ergonômica na atividade de esmerilhamento de trilho em uma indústria de mineração / Márcia Raissa Aragão Ferreira Pereira. - Recife, 2024.

152f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação, Programa de Pós-graduação Profissional em Ergonomia, 2024.

Orientação: Raimundo Lopes Diniz.

1. intervenção ergonômica; 2. esmerilhamento de trilho; 3. condições de trabalho; 4. carga física; 5. exoesqueleto passivo. I. Diniz, Raimundo Lopes. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 620.8

MÁRCIA RAISSA ARAGÃO FERREIRA PEREIRA

**CARGA FÍSICA E O USO DO EXOESQUELETO PASSIVO: INTERVENÇÃO
ERGONÔMICA NA ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA
INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado Profissional em Ergonomia
da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do grau de mestre em
Ergonomia.

Aprovada em: 25 de junho de 2024

Prof. Dr. Raimundo Lopes Diniz

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Orientador/Presidente da Banca

Prof. Dr. José Guilherme da Silva Santa Rosa

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Membro examinador Interno

Prof. PhD. Marcelo Márcio Soares

Universidade Federal de Pernambuco

(UFPE)

Membro examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, que todos os dias, me deu força e coragem para continuar e concluir este trabalho.

Ao professor Raimundo Lopes Diniz, meu orientador, pela disponibilidade, apoio, competência e pelos ensinamentos passados.

Aos professores, funcionários e colegas do Mestrado em Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco, que estarão para sempre em minha memória.

À indústria de mineração da cidade de São Luís, nas pessoas da Gerente de Saúde Ocupacional Alessandra Santos e da Coordenadora de Higiene Ocupacional, Ergonomia e Processos, Lucianne Pereira, pela oportunidade de realizar este estudo.

Aos Gestores e oficiais de via permanente que participaram da pesquisa.

Às Ergonomistas Gheysa Sousa e Veronica Silva e também a estagiária Jéssica Moraes que me acompanharam durante a realização da pesquisa.

À minha família, em especial meus pais Zuleide Ferreira e Julio Ferreira, pela confiança e orações que sei que nunca cessaram.

Aos meus filhos, Anna Júlia e Luiz Alexandre pelo amor e compreensão para que este trabalho pudesse ser finalizado.

Ao meu esposo e parceiro neste desafio, Alexandre Pereira pelo amor, compreensão, paciência e apoio para que este trabalho pudesse ser finalizado.

“Você ganha força, coragem e confiança através de cada experiência em que você realmente para e encara o medo de frente.”

Eleanor Roosevelt, 2009

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar as condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e analisar se o uso, ou não, de um exoesqueleto passivo influencia nos fatores de risco, relacionados à carga física, na atividade de esmerilhamento de trilho, visando a saúde, eficiência e segurança dos trabalhadores em uma indústria de mineração. Para tal, aplicou-se o método Análise Macroergonômica do Trabalho (AMT) até a fase de diagnose ergonômica. Na fase de apreciação ergonômica, foram realizadas observações assistemáticas e entrevistas abertas que culminaram com a aplicação de um questionário de validação, o qual gerou um ranking de Itens de Demanda Ergonômica (IDEs) ponderado pela matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). Já na fase de diagnose, realizou-se a análise da tarefa e a avaliação do quadro postural por meio do sistema Kinebot, apenas pela descrição de variações angulares e amplitudes de movimentos e, em seguida, analisou-se o nível da carga física de trabalho da atividade de esmerilhamento de trilhos por meio do diagrama de regiões corporais (Corlett, 1993), da técnica REBA (Rapid Entire Body Assessment) (Hignett & Mcatamney, 2000) e da avaliação de força muscular por meio da dinamometria. De maneira geral, a apreciação ergonômica mapeou os principais IDEs: ambiente, biomecânico, organização e empresa, sendo que os IDEs relativos à carga física (como cansaço, postura e desconforto nas costas e braços) foram maior evidência no ranking. Ainda, os resultados da diagnose apresentaram que a carga física se fez presente no trabalho dos oficiais de via permanente (esmerilhamento de trilho), por outro lado, comprovou-se que quando do uso do exoesqueleto passivo a carga física apresentou menor intensidade, principalmente para o desconforto/dor de ombros e pernas que alcançaram pontuações mais elevadas de desconforto/ dor após a atividade sem o exoesqueleto, em relação ao REBA, houve redução do score de risco, porém sem impacto no nível do risco e quanto a dinamometria pôde-se observar que as médias entre os grupos ficaram entre 116,82 KGF, não havendo diferença estatística entre os momentos de avaliação, sendo $p=0,5279$. Em relação a correlação entre as variáveis do trabalho foram observadas correlações negativas e significativas entre o REBA sem exoesqueleto e a dinamometria antes da atividade sem exoesqueleto ($\rho=-0,541$; $p=0,037$) e depois da atividade com exoesqueleto ($\rho=-0,557$; $p=0,031$). Não

houve correlações estatisticamente significativas entre dinamometria, REBA e análise de desconforto/dor para tronco e membros ($p > 0,05$).

Palavras-chave: intervenção ergonômica; esmerilhamento de trilho; condições de trabalho, carga física; exoesqueleto passivo.

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate working conditions in the permanent track maintenance sector and analyze whether the use, or not, of a passive exoskeleton influences risk factors, related to physical load, in the rail grinding activity, aiming to the health, efficiency and safety of workers in a mining industry. To this end, the Macroergonomic Work Analysis method was applied until the ergonomic diagnosis phase. In the ergonomic assessment phase, unsystematic observations and open interviews were carried out, culminating in the application of a validation questionnaire, which generated a ranking of Ergonomic Demand Items weighted by the GUT matrix (Severity, Urgency and Trend). In the diagnosis phase, task analysis and postural assessment were carried out using the Kinebot system, simply by describing angular variations and ranges of movement and then analyzing the level of physical workload. of rail grinding activity using the diagram of body regions (Corlett, 1993), the REBA (Rapid Entire Body Assessment) technique (Hignett & Mcatamney, 2000) and the assessment of muscular strength using dynamometry. In general, the ergonomic assessment mapped the main Ergonomic Demand Items: environment, biomechanics, organization and company, with Ergonomic Demand Items relating to physical load (such as fatigue, posture and discomfort in the back and arms) were most evident in the ranking. Furthermore, the results of the diagnosis showed that the physical load was present in the work of the permanent route officers (rail grinding), on the other hand, it was proven that when using the passive exoskeleton the physical load was less intense, mainly for the discomfort/pain of shoulders and legs that reached higher discomfort/pain scores after the activity without the exoskeleton, in relation to REBA, there was a reduction in the risk score, but without impact on the level of risk and as far as dynamometry was possible note that the averages between the groups were between 116.82 KGF, with no statistical difference between the assessment moments, with $p= 0.5279$. Regarding the correlation between work variables, negative and significant correlations were observed between REBA without an exoskeleton and dynamometry before the activity without an exoskeleton ($\rho=-0.541$; $p=0.037$) and after the activity with an exoskeleton ($\rho=-0.557$; $p=0.031$). There were no statistically significant correlations between dynamometry, REBA and discomfort/pain analysis for trunk and limbs ($p>0.05$).

Keywords: ergonomic intervention; rail grinding, working conditions, physical load; passive exoskeleton.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Pátio de estocagem	21
Figura 2-	Fluxo do minério de ferro desde o ponto de carga, passando pela estrada de ferro até o porto	21
Figura 3-	Exemplo de chegada de lotes no pátio para descarga por rota	22
Figura 4-	Componentes e disposição típica de uma via permanente ferroviária	24
Figura 5-	Pontos de medição do nivelamento transversal no jacaré	26
Figura 6-	Medição com régua de bitola na saída do jacaré	26
Figura 7-	Lixamento do trilho com lixadeira	27
Figura 8-	Acabamento do jacaré com lixadeira	27
Figura 9-	Solda finalizada no Km 21.405	28
Figura 10-	Fluxograma da rotina das equipes de manutenção de via permanente	29
Figura 11-	Exemplos de exoesqueletos ocupacionais	32
Figura 12-	Modelo de exoesqueleto	51
Figura 13-	Sistema Kinebot	54
Figura 14-	Diagrama de Corlett e Manenica	55
Figura 15-	Câmera de celular armada em um tripé e posicionada num plano sagital	56
Figura 16-	Avaliação rápida do corpo inteiro (REBA)	57
Figura 17-	Exemplo de uma das interfaces do software REBA utilizado para avaliação dos constrangimentos posturais na realização da atividade de esmerilhamento de trilho na fase II	58
Figura 18-	Dinamômetro dorsal, modelo Oswaldo Filizola, marca Crown®, 200 KGF para a mensuração da força muscular lombar nas atividades de esmerilhamento de trilho observadas na fase II	60
Figura 19-	Realização da dinamometria com e sem o exoesqueleto	61

Figura 20-	Reunião para lançamento da pesquisa (fase 0)	66
Figura 21-	Exemplos de posturas inadequadas na atividade de esmerilhamento do trilho com lixadeira	68
Figura 22-	Exemplos de posturas inadequadas na atividade de acabamento com uso de retífica	68
Figura 23-	Execução da atividade em área descoberta e em piso desnivelado	69
Figura 24-	Nível de impacto dos constructos ambiente	70
Figura 25-	Nível de impacto dos constructos biomecânico ou posto de trabalho	71
Figura 26-	Nível de impacto do constructo organizacional	72
Figura 27-	Nível de impacto do constructo risco	73
Figura 28-	Nível de impacto constructos empresa	74
Figura 29-	Nível de impacto do constructo de desconforto/ dor	75
Figura 30-	Fluxograma das atividades dos oficiais de via permanente	81
Figura 31-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o pescoço	85
Figura 32-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a coluna cervical	85
Figura 33-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a coluna torácica	86
Figura 34-	Resultados da análise de desconforto/ dor para coluna lombar	86
Figura 35-	Resultados da análise de desconforto/ dor para bacia/quadril	87
Figura 36-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o ombro lado direito	88
Figura 37-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o braço lado direito	88
Figura 38-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o cotovelo lado direito	89
Figura 39-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o antebraço lado direito	89

Figura 40-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o punho lado direito	90
Figura 41-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a mão lado direito	90
Figura 42-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a coxa lado direito	91
Figura 43-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a perna lado direito	91
Figura 44-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o ombro lado esquerdo	92
Figura 45-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o braço lado esquerdo	92
Figura 46-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o cotovelo lado esquerdo	92
Figura 47-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o antebraço lado esquerdo	93
Figura 48-	Resultados da análise de desconforto/ dor para o punho lado esquerdo	94
Figura 49-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a mão lado esquerdo	94
Figura 50-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a coxa lado esquerdo	95
Figura 51-	Resultados da análise de desconforto/ dor para a perna lado esquerdo	95
Figura 52-	Movimentos de tronco, pescoço, pernas, braços e punhos mais frequentes entre os oficiais de via permanente observados	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Número de entrevistados distribuídos por setor	46
Tabela 2-	Representação da Matriz GUT	49
Tabela 3-	Resultados das entrevistas abertas	66
Tabela 4-	Matriz GUT para a priorização dos processos	75
Tabela 5-	Resultados da técnica REBA	97
Tabela 6-	Resultados da dinamometria	97
Tabela 7-	Matriz de correlação entre a dinamometria e o REBA	98
Tabela 8-	Matriz de correlação entre dinamometria, REBA e análise de desconforto/dor para tronco e membros (ρ)	99
Tabela 9-	Recomendações de melhoria preliminares	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores para aferição de campo	28
Quadro 2 - Estudos atuais que demonstram os ganhos com a aplicação do exoesqueleto	35
Quadro 3 - Principais recomendações ergonômicas para o uso do exoesqueleto	39
Quadro 4 - Matriz de confiabilidade	48
Quadro 5 - Categorias de ação REBA	58
Quadro 6 - Delineamento dos métodos e técnica utilizados na presente pesquisa	63
Quadro 7 - Quadro postural	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
AMT	Análise Macroergonômica do Trabalho
AMV	Aparelho de Mudança de Via
CCO	Centro de Controle Operacional
CCP	Centro de Controle de Pátio
DM	Design Macroergonômico
DME	Distúrbios Musculoesqueléticos
GUT	Gravidade, Urgência e Tendência
IDES	Índice de Demandas Ergonômicas
IEA	Associação Internacional de Ergonomia
LDL	Liberação de Linha
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
REBA	<i>Raped Entire Body Assessment</i>
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre Esclarecido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	16
1.1.1 <i>Questão da pesquisa</i>	17
1.2 Objetivos	17
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	18
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	18
1.3 Hipóteses	18
1.4 Variáveis	
1.4.1 <i>Variáveis independentes</i>	18
1.4.2 <i>Variáveis dependentes</i>	18
1.4.3 <i>Variáveis sob controle</i>	19
2 INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO	20
2.1 Transporte ferroviário	22
2.2 Via permanente ferroviária	23
2.3 Via permanente e atividade de esmerilhamento do trilho	24
2.4 Exoesqueleto: breve histórico, tipos e aplicabilidades na indústria	30
2.5 A ergonomia e as pesquisas realizadas com exoesqueletos	33
2.6 Recomendações ergonômicas para o uso de exoesqueletos	36
3 MÉTODOS E TÉCNICAS	42
3.1 Tipificação da pesquisa	44
3.2. Análise macroergonômica do trabalho (Guimarães, 1999)	43
3.2.1 <i>Fase 0: sensibilização dos trabalhadores</i>	43
3.2.2 <i>Fase 1: apreciação ergonômica</i>	44
3.2.3 <i>Fase 2: Diagnose ergonômica no trabalho dos oficiais de via permanente</i>	50
3.3 Aspectos éticos	61
3.4 Delineamento metodológico	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1 Apreciação ergonômica	65
4.2 Diagnose ergonômica	79
4.2.1 <i>Análise da tarefa e descrição cinesiológica das posturas</i>	79
4.2.2 <i>Diagrama de Segmentos Corporais- Corlett - Análise de desconforto/dor antes, após a atividade sem e com o exoesqueleto</i>	84

4.2.3 <i>Análise de posturas por meio do REBA (Hignett & Mcatamney, 2000)</i>	96
4.2.4 <i>Dinamometria</i>	98
4.2.5 <i>Correlação entre as variáveis do trabalho</i>	99
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
5.1 Desdobramentos da pesquisa	109
REFERÊNCIAS	111
ANEXOS	122
APÊNDICES	134

1 INTRODUÇÃO

A indústria Ferroviária Brasileira é a maior da América do Sul, possuindo uma malha ferroviária de 30 mil km de extensão (Abifer, 2022). Os principais produtos que são carregados pelo transporte ferroviário no Brasil são: o minério de ferro, soja, açúcar, carvão mineral, grãos, farelo de soja, óleo diesel, a celulose, os produtos siderúrgicos e o ferro-gusa.

O aumento das cargas transportadas por eixo e a velocidade em que os trens trafegam causam uma redução da vida útil da via, resultando em uma degradação mais rápida das condições da ferrovia que estão associadas à geometria e um desgaste maior dos componentes. Como consequência, há necessidade de maior frequência de intervenções para manutenção (Selig; Waters, 1994).

Desta forma, a superestrutura das estradas de ferro é formada pela via permanente, que está sujeita à ação de desgaste do meio ambiente (intempéries) e das rodas dos veículos e sua manutenção tem grande importância para que as mesmas estejam dentro de padrões e garantindo a capacidade e segurança desta operação. Uma das etapas desta manutenção consiste no esmerilhamento do trilho para acabamento da solda que garante o alinhamento e nivelamento longitudinal dos trilhos (Lorenz, 2018).

A indústria de mineração envolve uma série de atividades que podem ser bastante desafiadoras do ponto de vista ergonômico, especialmente devido ao ambiente de trabalho exigente e perigoso em que os trabalhadores precisam operar. Algumas das principais questões ergonômicas que afetam a indústria de mineração incluem as lesões musculoesqueléticas. Trabalhadores da mineração são frequentemente expostos a atividades que requerem movimentos repetitivos, movimentação e transporte de cargas e posturas incômodas, o que pode levar a dores musculares e lesões.

As doenças ocupacionais são parte relevante do absenteísmo nas empresas, sendo os distúrbios musculoesqueléticos (DME) um dos tipos mais comuns, gerando, além de grande sofrimento aos colaboradores, perdas de produtividade, sobrecarga para a equipe remanescente e prejuízos econômicos ao empregador, governo e sociedade em geral (Haefner *et al*, 2018).

Assim, buscando-se a prevenção de tais passivos ocupacionais, a Ergonomia pode ser um dos grandes aliados na identificação e priorização de riscos,

assim como de fatores físicos e psicossociais dos colaboradores, possibilitando tratar a biomecânica dos postos de trabalho, a organização do trabalho e os fatores geradores de problemas psicológicos nas pessoas e equipes (Andrade, 2018).

A atividade de esmerilhamento de trilho exige posturas diversificadas. Conforme Pereira *et al.* (2013), o trabalho de esmerilhamento é realizado em pé, com a utilização dos membros superiores (braços e mãos), assim como a flexão da coluna cervical. Quando a atividade de esmerilhamento é realizada no trilho, devido ao posicionamento do mesmo ao nível do piso, há também a adoção de postura de flexão de tronco e de membros inferiores. Segundo Guérin *et al.* (2001, p. 152), “[...] as posturas constituem um indicador complexo da atividade e dos constrangimentos que pesam sobre ela. São também um objeto de estudo em si, na medida em que são fontes de fadiga e podem gerar distúrbios vertebrais, articulares etc”.

Dado o exposto, observa-se na indústria moderna um movimento crescente em direção à colaboração entre robôs e humanos, visando aprimorar conjuntamente o uso da robótica sem comprometer a flexibilidade dos seres humanos. Uma das soluções é a utilização de exoesqueletos. Esses equipamentos podem ser definidos como estruturas mecânicas externas que podem ser vestidas e que aumentam o poder físico de uma pessoa (Whitfield *et al.*, 2014; Bosch *et al.*, 2016; de Looze *et al.*, 2016; Koopman *et al.*, 2019).

O uso do exoesqueleto pode ser uma abordagem eficaz para reduzir as demandas físicas envolvidas no trabalho de sobrecarga muscular. Estudo recente mostrou o potencial de usar um dispositivo assistido vestível de uso geral - um colete de exoesqueleto com um braço mecânico para transportar uma ferramenta manual - para reduzir efetivamente as demandas físicas na extremidade superior durante a perfuração aérea com um aumento relativo menor de demandas na região lombar (Rashedi; Nussbaum, 2014). A utilização de um dispositivo auxiliar de utilização geral, pode ser atraente, uma vez que tal dispositivo pode ser utilizado em diversas situações que requerem a mobilidade de um trabalhador e, possivelmente, para diferentes tarefas.

O primeiro exoesqueleto para o corpo humano, Hardiman, foi criado pela General Electric em 1965. Este exoesqueleto foi concebido com a ideia de aumentar a capacidade física do corpo humano para levantar 680 kg. Essa ideia era muito inovadora, mas a tecnologia dos atuadores, dos materiais, das fontes de energia e os tipos de controle de sistemas nessa época, fizeram possível somente a criação de um

exoesqueleto de braço com movimentos bruscos e que não apresentava segurança para que uma pessoa pudesse usá-lo (Garcés, 2013).

Dentro do conceito de indústria 4.0 que engloba um conjunto de sistemas ciber-físicos (CPS), pessoas e fábricas inteligentes que interagem entre si, utilizando recursos da internet dos serviços e da internet das coisas, todas conectadas pela internet (Pereira, 2018), o exoesqueleto vem como uma revolução do trabalho pelo seu formato disruptivo, tecnológico e focado em produtividade. Até o lançamento do exoesqueleto no mercado, inúmeros foram os testes dentro de laboratórios de robóticas onde equipes de projetos realizaram ajustes, adequações, reengenharia de partes, estudo de materiais (Cardoso, 2019).

Dentro dos diferentes centros de pesquisa verifica-se o quão os pesquisadores se esbarraram nas limitações impostas para adaptação ao corpo. Por trás dessas implicações, existem muitas interações que precisam ser analisadas, das quais destacam-se: antropometria, ambiente de trabalho, condições ambientais, dimensões do posto de trabalho, concepção do posto, biomecânica, cinesiologia etc. (Theurel, 2019).

Desta forma, a presente pesquisa aborda a avaliação das condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e a verificação se a utilização de um exoesqueleto passivo, ou seja, não utilizam nenhum tipo de atuador para fazer movimentos, utilizando-se apenas dos materiais para sustentar uma postura, influencia nos fatores de riscos relacionados a carga física na atividade de esmerilhamento de trilho, visando a eficiência, a saúde e segurança dos trabalhadores de uma empresa de mineração.

Assim, buscou-se realizar uma intervenção ergonômica no setor de via permanente, em uma indústria de mineração, especificamente na atividade de esmerilhamento de trilhos. Aplicou-se o método análise macroergonômica do trabalho (AMT) (Guimarães, 1999), até a fase de diagnose ergonômica. Inicialmente, a fase de apreciação ergonômica foi necessária para o levantamento e mapeamento de itens de demanda ergonômica (ides) e a verificação do ranqueamento do IDE relacionado a carga física. Posteriormente, buscou-se o aprofundamento sobre o nível da carga física e sua relação quanto ao uso de um exoesqueleto passivo, quando da realização da atividade de esmerilhamento.

A pesquisa em questão está em aderência à área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Ergonomia (PPERGO), um mestrado profissional da

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pois envolve a pesquisa ergonômica e suas aplicações em uma organização, visando propor melhorias nas condições de trabalho por meio da pesquisa, planejamento e avaliação de tarefas. Além disso, está em conformidade com a linha de pesquisa em Ergonomia do Produto e Produção.

1.1 Justificativa

O exoesqueleto consiste em um traje robótico que permite maior agilidade, maior conforto e a utilização de menos esforço na jornada de trabalho, possibilitando uma fusão entre a flexibilidade humana e uma maior potência fornecida pelo equipamento (Russo *et al.*, 2021). Este surge como a mais nova de uma série de iniciativas para a melhoria das condições ergonômicas para os trabalhadores. Eles são considerados exemplos de Colaboração Humano- Robô em que o dispositivo é usado pelo ser humano e o contato físico entre o operador e a estrutura mecânica permite uma troca direta de energia mecânica e sinais de informação (Spada *et al.*, 2017).

De acordo com Graham, Agnew e Stevenson, 2009; Frost, Abdoli e Stevenson, 2009; Ulrey e Fathallah, 2013a; Koopman, *et al.*, 2019, o uso do exoesqueleto para costas contribui para reduzir a demanda muscular lombar durante operações envolvendo flexão/extensão do tronco no plano sagital executando tarefas em posturas estáticas e também em condições reais de trabalho.

Wesslén (2018) em estudo sobre diversos modelos de exoesqueletos, tanto disponíveis no mercado como modelos teóricos, de uma maneira geral, os exoesqueletos se demonstram benéficos para a prevenção de complicações geradas por carga física, se mostrando eficiente na redução da atividade/esforço muscular.

Para realizar a atividade de esmerilhamento de trilhos na via permanente há a necessidade de adoção de posturas incômodas como flexão e torção da coluna. Desta forma, torna-se pertinente avaliar, em contexto industrial, a influência de um exoesqueleto passivo na postura e eventual diminuição dos fatores de risco de carga física em tarefas que envolvem a flexão do tronco.

Desta forma, considerando a importância da manutenção no sistema ferroviário, o presente trabalho aborda a influência da utilização de um exoesqueleto passivo nos fatores de risco de carga física na atividade de esmerilhamento de trilho de via permanente em uma indústria de mineração em São Luís-MA.

A justificativa de escolha por esta atividade prende-se ao fato de que para a realização de tal atividade há a exigência física significativa de posturas estáticas e inapropriadas como flexões do tronco nos quais os trabalhadores estão expostos (Guimarães, *et al.*, 2015; Nejad *et al.*, 2013).

Julga-se também o presente estudo como um contributo inovador, tendo em vista que este fornece dados científicos sobre a utilização do exoesqueleto que ainda carece de validação em contexto industrial, uma vez que, como evidenciado pela revisão bibliográfica deste estudo, poucos estudos têm sido realizados neste contexto, existindo por isso alguma controvérsia relativa à segurança do equipamento para o utilizador (Looze *et al.*, 2016). Assim como no que concerne ao contexto industrial continua a ser necessária mais investigação para melhor compreensão dos efeitos da utilização de um exoesqueleto passivo nos fatores de risco de carga física. De acordo com Spada *et al.* (2017) são poucos os estudos que investigam os modelos de exoesqueletos passivos, sendo a maioria deles um estudo com baixo número de participantes ou sem analisar os trabalhadores de chão de fábrica.

Além da escassez de estudos do uso do exoesqueleto em tal atividade, também não foram encontrados na literatura estudos voltados para as condições de trabalho da atividade de esmerilhamento de trilho, assim como no que concerne o uso do exoesqueleto passivo para as costas para tal atividade.

1.1.1 Questão da pesquisa

A questão da presente pesquisa é “Como a intervenção ergonômica pode contribuir para um melhor entendimento a respeito das condições de trabalho e do nível da carga física nas atividades de esmerilhamento de trilhos, principalmente em ações com o uso e sem o uso de um exoesqueleto passivo?”

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar as condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e analisar se o uso de um exoesqueleto passivo influencia nos fatores de risco,

relacionados à carga física, na atividade de esmerilhamento de trilho, visando a saúde, eficiência e segurança dos trabalhadores em uma indústria de mineração.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- a) Realizar o levantamento e o mapeamento (*ranking*) de problemas (IDEs) no trabalho da via permanente (esmerilhamento de trilho);
- b) Analisar o nível de carga física entre os trabalhadores e a sua relação com e sem o uso de um exoesqueleto passivo, quando da realização de atividades;
- c) Propor recomendações de melhoria, considerando os IDEs encontrados e, também, o nível de carga física.

1.3 Hipóteses

Com base no problema definido, formularam-se as seguintes hipóteses:

H1: Há a presença de níveis elevados de carga física entre os trabalhadores, durante a realização da atividade de esmerilhamento de trilho;

H2: Há níveis mais reduzidos de carga física entre os trabalhadores com o uso do exoesqueleto passivo durante a realização da atividade de esmerilhamento de trilho.

1.4 Variáveis

1.4.1 *Variáveis independentes*

As variáveis independentes desta pesquisa foram:

- a) Atividades de esmerilhamentos de trilho realizados sem o uso de exoesqueleto;
- b) Atividades de esmerilhamentos de trilho realizados com o uso de exoesqueleto.

1.4.2 *Variáveis dependentes*

As variáveis dependentes foram:

- a) Nível de desconforto/dor em segmentos corporais;
- b) Nível de risco postural;
- c) Nível de força aplicada;

d) Nível de carga física.

1.4.3 Variáveis sob controle

As variáveis situacionais sob controle adotadas neste trabalho, isto é, as variáveis que sempre deverão estar presentes nas observações sistemáticas e assistemáticas do objeto da pesquisa, foram:

- a) Fatores relacionados ao local de execução da atividade de esmerilhamento ao longo da via permanente:
 - Local de realização da atividade;
 - Temperatura (trabalho sob intempéries);
 - Iluminação adequada;
 - Atividade realizada a nível do piso.
- b) Fatores associados aos sujeitos
 - Sujeitos saudáveis;
 - Todos do sexo masculino.
- c) Turno/Ação
 - Esmerilhamentos de trilho realizados em turno diurno;
 - Atividades de esmerilhamentos de trilho realizados (ciclo).

2 INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO

Atualmente, a mineração é uma das principais atividades econômicas do Brasil, contribuindo significativamente para a geração de empregos e para a exportação de minerais e produtos manufaturados. A atividade consiste na extração de minérios naturais, consiste em um dos setores mais importantes no mundo economicamente. Além da importância desse setor na economia, a indústria de extração mineral é um empregador mundial, com um elevado número de trabalhadores formal ou informal (Sousa *et al.*, 2015).

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), em dados coletados até setembro de 2020, o setor da mineração no Brasil emprega mais de 176 mil trabalhadores diretamente. As estimativas do setor são de que para cada emprego direto na mineração, acarreta 3,5 postos de trabalhos diretos na cadeia seguinte, que é a de transformação mineral (IBRAM, 2021).

A cadeia produtiva e o sistema de transporte do minério de ferro contam com uma ampla rede logística envolvida na produção, transporte e escoamento do minério de ferro por malhas ferroviárias e por terminais portuários especializados. A rede logística necessita de concessões governamentais para exploração e comércio de minério de ferro no Brasil, as mesmas são por período indeterminado (PIRES, 2015).

O minério de hematita é extraído nesse sistema a partir dos seguintes processos: beneficiamento que consiste em medição, peneiramento, hidroclonagem, britagem e filtragem. O resultado desse processo gera o *sínter feed*, o *pellet feed* e o minério granulado. A fonte de energia para esse sistema provém de empresas regionais de energia elétrica ou diretamente da empresa (Genena *et al.*, 2017).

Após a separação, o minério de ferro segue por correias transportadoras, empilhadeiras e recuperadoras para os pátios de estocagem (Figura 1). Aqui termina o processo de beneficiamento e inicia-se o transporte do minério beneficiado. (Vale, 2015 *apud* Genena *et al.*, 2017).

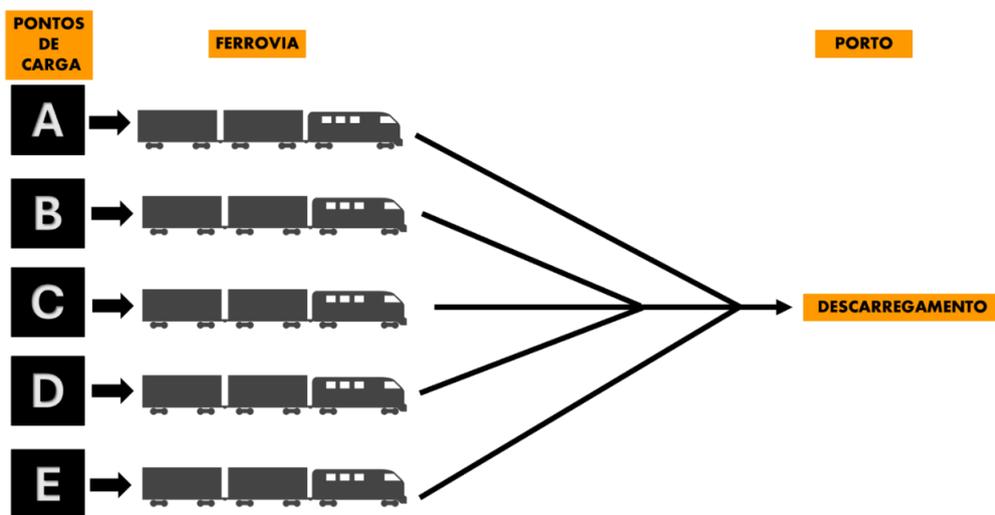
Figura 1- Pátio de estocagem



Fonte: Vale (2015 apud Genena, 2017, p. 87)

O minério produzido é transportado por via férrea, após a estocagem, em pilhas, o minério é movimentado por máquinas carregadoras até os silos de estocagem que se encontram no terminal ferroviário. Estes reservatórios cilíndricos abastecem os vagões do trem de carga. De acordo com Carneiro (2008), depois de carregado, o trem segue por uma grande extensão de estrada de ferro, ao chegar ao destino ocorre o tombamento dos vagões para descarregar o minério, o qual é levado por um sistema de correias transportadoras até os pátios de estocagem do terminal portuário (Vale, 2015 apud Genema *et al.*, 2017) (Figura 2).

Figura 2 - Fluxo do minério de ferro desde o ponto de carga, passando pela estrada de ferro até o porto

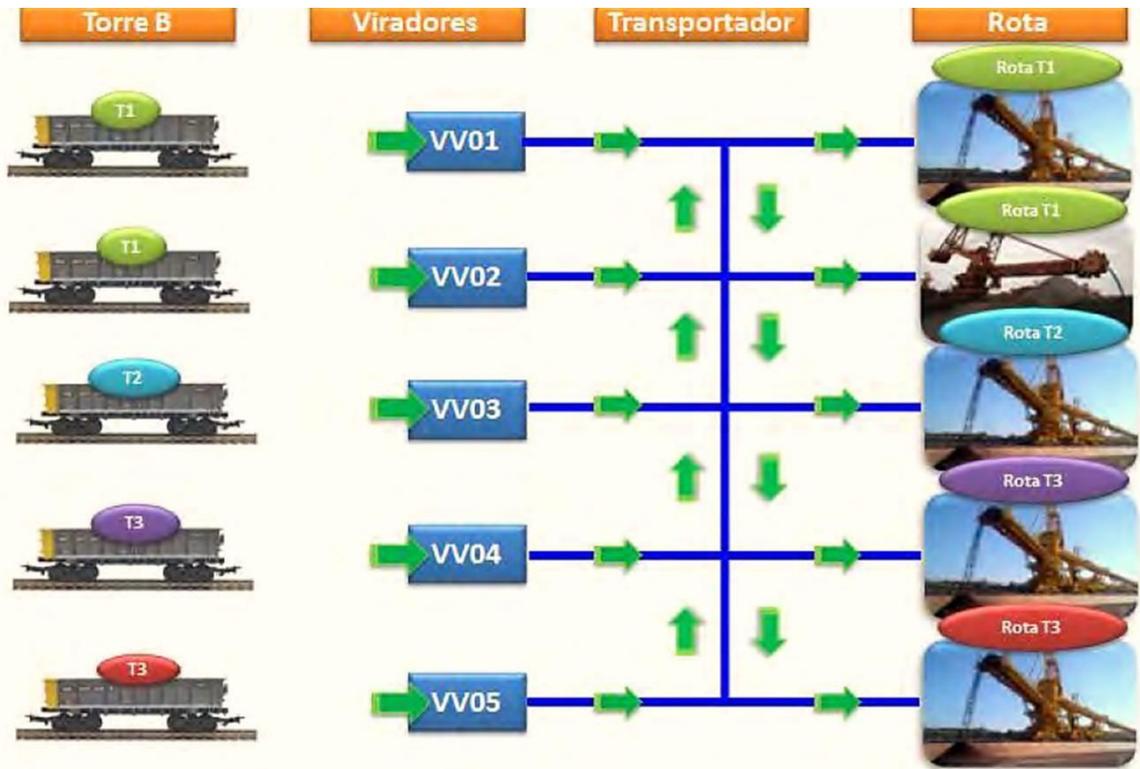


Fonte: Adaptado de Vieira e Cruz (2016, p.1667)

Estando o minério nos pátios de estocagem, máquinas recuperadoras e

correias transportadoras levam o minério direto aos porões dos navios mineraleiros (Vale, 2014 *apud* Enema *et al.*, 2017) (Figura 3).

Figura 3- Exemplo de chegada de lotes no pátio para descarga por rota



Fonte: Vieira e Cruz (2016, p.1667)

2.1 Transporte Ferroviário

O transporte ferroviário brasileiro registrou crescimento considerável desde o início das concessões das malhas federais à iniciativa privada. Houve um aumento expressivo do volume de produtos transportados e da produção ferroviária nas últimas duas décadas, além de melhorias na segurança e na qualidade do serviço (CNT, 2015). Desse modo, a responsabilidade pela prestação do serviço e manutenção do sistema foi repassada ao setor privado, propiciando ganhos de eficiência e segurança, ao passo que a União passou a arrecadar mais recursos. O principal objetivo das ferrovias brasileiras é o transporte de cargas, principalmente os que possuem elevada concentração, como granéis, produtos siderúrgicos e cargas unitizadas (contêineres) (Neto, 2012).

As linhas ferroviárias são comumente usadas em operações de mineração para transportar grandes quantidades de minerais e outros materiais por longas distâncias. Essas linhas férreas geralmente são construídas com alto grau de

durabilidade e resistência, usando materiais resistentes que podem suportar o peso e o impacto de equipamentos pesados de mineração e vagões carregados (Neto, 2012).

Estima-se que a participação do transporte ferroviário na matriz de transportes do Brasil é de cerca de 25% da produção de carga do país. Considera-se que essa atuação ainda é baixa diante do seu potencial de utilização. Diante do cenário atual do país, são esperados novos investimentos para o setor ferroviário de carga visando uma matriz de transporte mais equilibrada, eficiente, segura e competitiva. Conseqüentemente, há possibilidades de expansão da malha ferroviária nacional, de aumento na capacidade produtiva e do volume de produtos transportados. O aumento das cargas transportadas por eixo e da velocidade em que os trens trafegam causam uma redução da vida útil da via, resultando em uma degradação mais rápida das condições da ferrovia que estão associadas à geometria e um desgaste maior dos componentes. Como consequência, há necessidade de maior frequência de intervenções para manutenção (Selig; Waters, 1994).

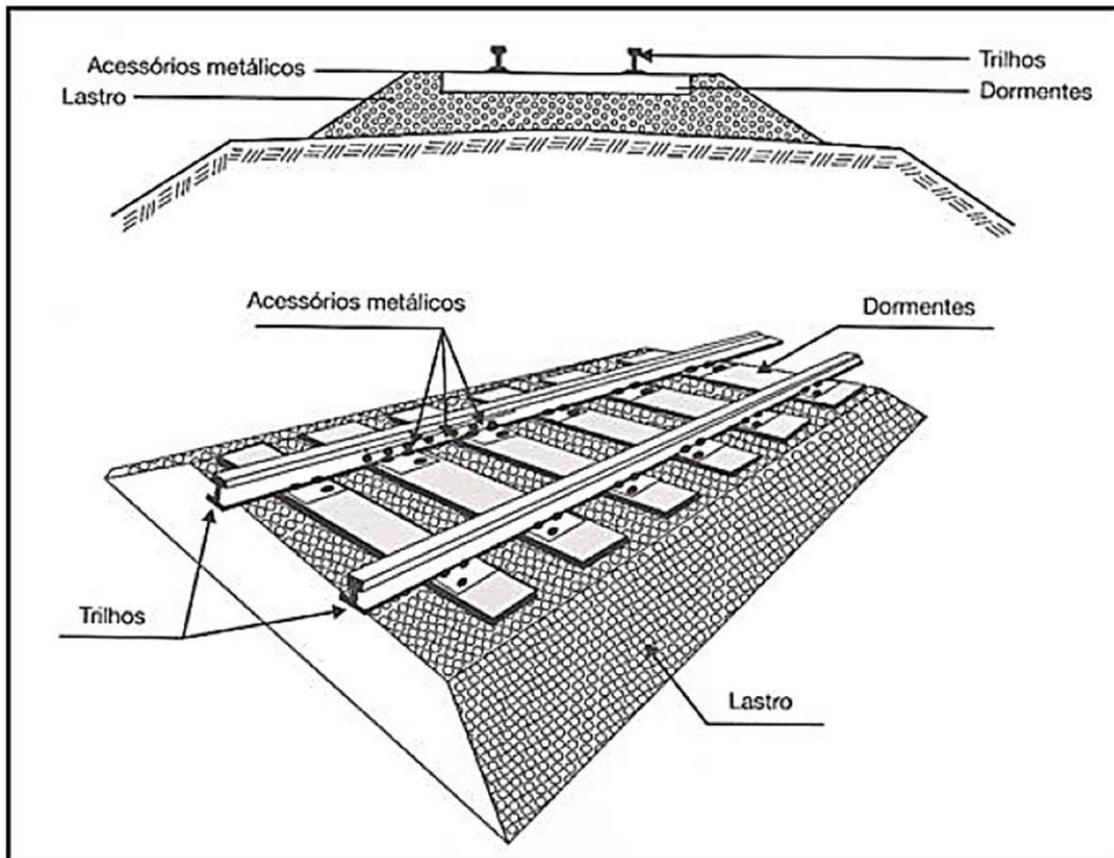
2.2 Via Permanente ferroviária

Brina (1979) considera a via permanente ferroviária como a superestrutura de uma linha férrea. Os três elementos principais da via permanente são o lastro, os dormentes e os trilhos, estes últimos constituindo o apoio e ao mesmo tempo a superfície de rolamento para os veículos ferroviários. Ainda segundo o autor, deve-se incluir também, como elemento da superestrutura das estradas de ferro, o sublastro, que embora ligado intimamente às camadas finais da infraestrutura, tem características especiais, que justificam a sua inclusão como parte da superestrutura ferroviária.

Para Ghélere (2002), a via permanente é o conjunto das instalações e equipamentos que constituem as partes da via por onde circulam os trens, sendo formada por duas partes: a superestrutura e a infraestrutura. Sendo que a superestrutura é um conjunto de trilhos montados sobre dormentes e lastro, em duas fileiras, separados por determinada distância (bitola) e a infraestrutura é um conjunto de aterros, cortes, túneis, pontes, construídos para suportar a superestrutura da via permanente.

Os principais componentes da superestrutura são: trilhos, dormentes, acessórios de fixação, e lastro. A disposição destes itens é ilustrada na figura 4:

Figura 4- Componentes e disposição típica de uma via permanente ferroviária



Fonte: Steffler (2013 *apud* Seraco, 2019, p.10)

2.3 Via Permanente e atividade de esmerilhamento do trilho

A manutenção de via permanente cuida da integridade do caminho do trem, ou seja, cuida para que os componentes da via (trilhos, dormentes, lastro e fixações) estejam dentro de padrões, garantindo a segurança (Henrique, 2006).

Para Neto (2012), a manutenção da via permanente envolve todos os tipos de intervenções necessárias, para que a via seja mantida em um estado de integridade, onde possa cumprir todas as suas funções de forma eficiente e segura.

Paiva (2016), afirma que na via férrea há componentes cuja falha é intolerável, como trilhos, fixações ou o colapso da infraestrutura da via e que os demais componentes da via férrea, apresentam falhas individuais do tipo tolerável, que se resumem em restrição na velocidade operacional.

De acordo com Vidon *et al.* (2013), desgaste é a perda ou deslocamento do material na superfície de contato. O material pode desgastar-se de diferentes modos e mecanismos. A forma como um material desgasta depende da natureza do

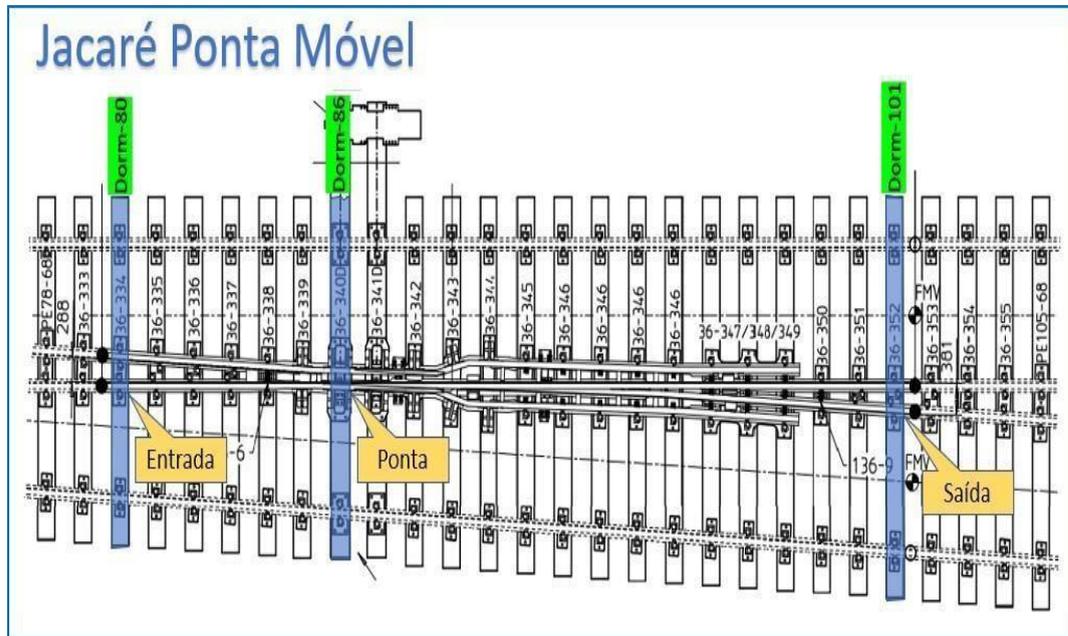
material e outros elementos tais como condições ambientais e contaminantes presentes.

A substituição dos trilhos deve ocorrer quando o desgaste atinge o limite de tolerância que é definido por meio da redução do módulo de resistência do boleto ou da combinação de desgaste vertical e horizontal definido pela ferrovia (Azevedo, 2017).

O esmerilhamento tem fundamental importância, pois a superfície do trilho necessita de um desgaste mínimo para eliminar as micro trincas provenientes da solicitação do material (Vidon *et al.*, 2013).

A atividade de esmerilhamento do jacaré, componente que faz parte do aparelho de mudança de via (AMV) ocorre com o esmerilhamento da junta isolante/metálica para nivelamento retirando as deformações da superfície de rolamento a fim de minimizar os impactos de contato roda/trilho. A necessidade do esmerilhamento é reconhecida a partir da inspeção quando é verificado o nivelamento com auxílio da régua de nível/bitola de superelevação com o uso de uma régua de nível/bitola sobre a junta a ser nivelada, de forma que esteja absolutamente perpendicular aos trilhos; verifica-se se há diferença de nível entre os trilhos através da bolha de nível da régua de nível/bitola e o valor encontrado na escala graduada da régua; observar-se o alinhamento nas juntas posicionando-se sobre a via a uma distância favorável à verificação deste item. Quando se encontram valores acima da tolerância deve-se corrigir o nivelamento da junta. Os pontos de medição são demonstrados nas figuras 5 e 6.

Figura 5 - Pontos de medição do nivelamento transversal no jacaré



Fonte: Vale (2022, p.18)

Figura 6 - Medição com régua de bitola na saída do jacaré



Fonte: Vale (2022, p.18)

Após verificar a medida da profundidade do defeito na superfície de rolamento do trilho para efetuar o esmerilhamento, verifica-se a medida utilizando régua metálica de 1mt e escala graduada/paquímetro. A flecha é medida com o centro da régua de 1 metro posicionada sobre a junta sendo conferidos o alinhamento e nivelamento longitudinal para que a mesma possa estar de acordo com o resto do trilho.

Realiza-se o esmerilhamento da junta isolante/metálica manualmente

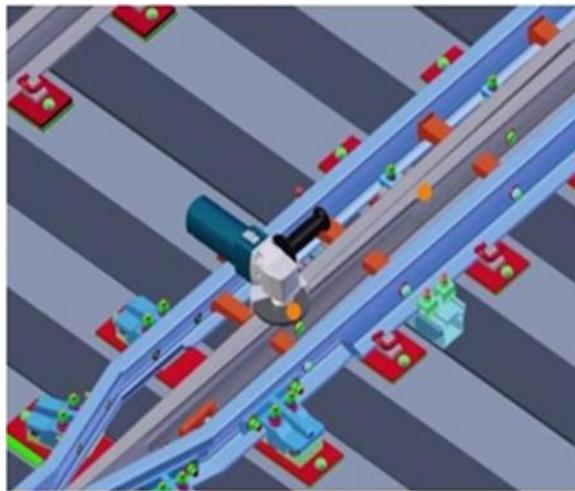
(figuras 7 e 8), conforme a criticidade, retirando as deformações da superfície de rolamento a fim de minimizar os impactos de contato roda/trilho.

Figura 7- Lixamento do trilho com lixadeira



Fonte: Lorenz (2018), p. 68

Figura 8- Acabamento do jacaré com lixadeira



Fonte: VALE (2022, p. 33)

Após o esmerilhamento realiza-se o check com uso da régua, verificando se foi retirado toda deformação no local. O limite de tolerância é definido por meio da redução do módulo de resistência do boleto ou da combinação de desgaste vertical e horizontal definido pela ferrovia, conforme exemplificado no quadro 1 (Azevedo, 2017).

Quadro 1 - Valores para aferição de campo

PERFIL		NOMINAL	LIMITES		
			20 T/EIXO	25 T/EIXO	32 T/EIXO
TR-37	LARGURA BOLETO	62,7	48		
	ALTURA PERFIL	122,2	113		
TR-45	LARGURA BOLETO	65,1	48	53	
	ALTURA PERFIL	142,8	132	135	
TR-50	LARGURA BOLETO	68,3	50	59	
	ALTURA PERFIL	152,4	136	137	
TR-57	LARGURA BOLETO	69,1	49	53	55
	ALTURA PERFIL	168,3	153	158	160
TR-68	LARGURA BOLETO	74,6	50	58	59
	ALTURA PERFIL	185,7	166	166	166

Fonte: Azevedo (2017 apud Lorenz, 2018, p. 45)

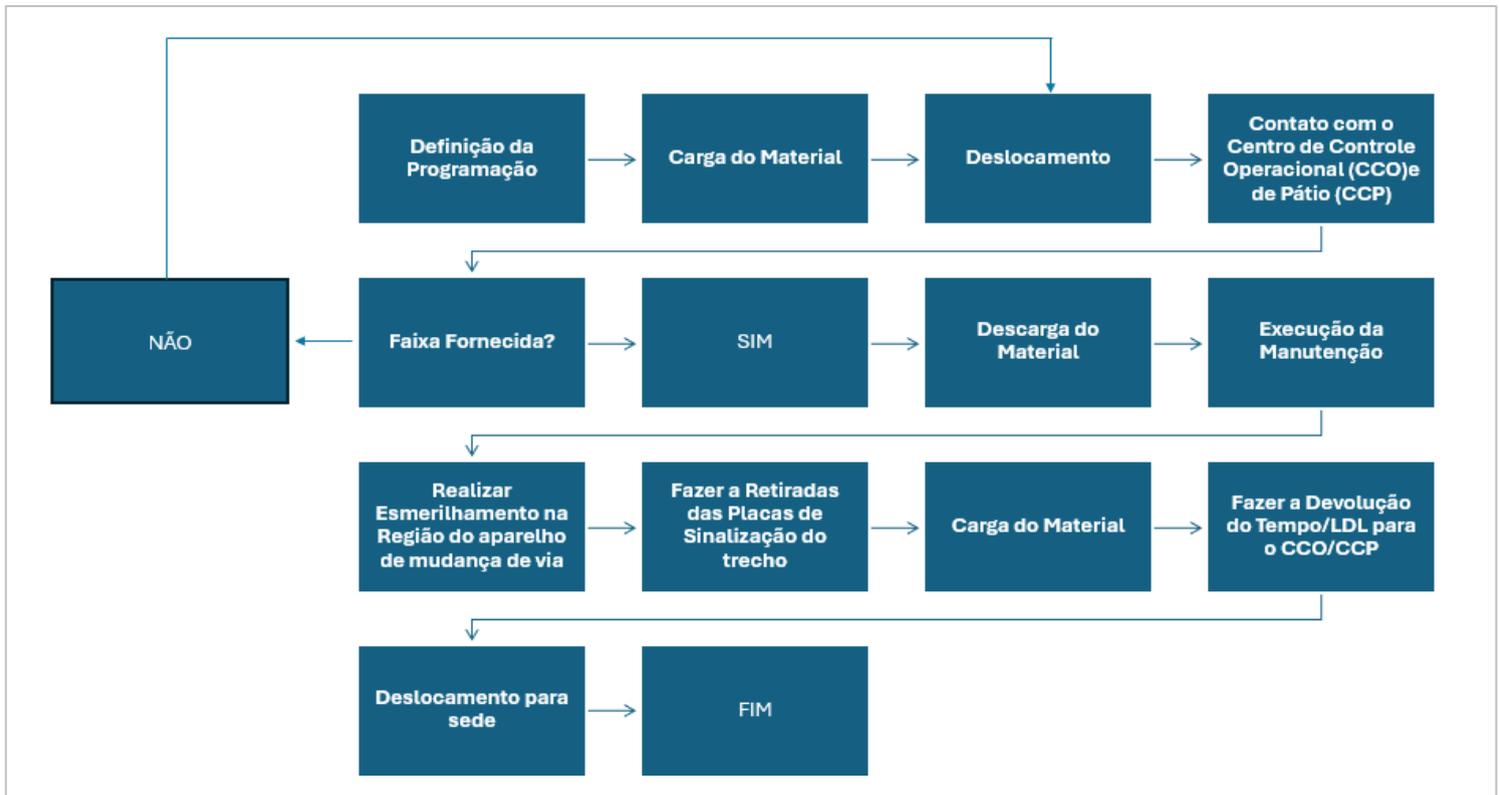
Ao final do processo de esmerilhamento, temos a solda finalizada e o trilho pronto para uso, como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 - Solda finalizada no Km 21.405

Fonte: Lorenz (2018, p. 68)

Para efeito de melhor entendimento a figura 10 descreve o fluxograma da tarefa:

Figura 10 - Fluxograma da rotina das equipes de manutenção de via permanente



Fonte: Autora (2023)

As atividades são dinâmicas e com variabilidades de ocorrências. As atividades são previamente definidas por um cronograma diário e semanal, mas que podem sofrer modificações a qualquer momento de acordo com as prioridades. Apesar de existir em alguns casos metas com prazos fixados e objetivos para os trabalhadores, eles possuem margens de liberdade para gerenciar o tempo gasto para executar cada atividade, levando-se em conta a variabilidade e os atrasos que podem acontecer durante a realização delas. Além disso, não há um ritmo ou cadência determinada para a realização das tarefas devido às características individuais que elas possuem. Os trabalhadores têm liberdade de pausar suas atividades para a realização de necessidades fisiológicas. São realizados treinamentos de capacitação técnica e de segurança para todos os empregados, com a duração e o conteúdo dos programas variados. Os trabalhadores têm autonomia de inter-relacionar-se com a área de segurança e medicina do trabalho da empresa, no sentido de estarem estudando e analisando soluções.

O trabalho que exige posturas diversificadas pode trazer consequências para a saúde do trabalhador, sendo considerada postura inadequada aquela que mais

se afasta da posição de neutralidade funcional ou anatômica do segmento corporal. O aparecimento das dores e desconfortos deve-se, portanto, a movimentos repetitivos, posturas inadequadas e ao excesso de pressão (Massad *et al.*, 2011).

As atividades em via permanente sofrem influências das características das ferramentas, do ambiente, dos materiais e do espaço de trabalho (Dias *et al.*, 2021).

De acordo Kunda *et al.* (2013), lesões musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho são comuns em países desenvolvidos e do terceiro mundo. A maioria dos pesquisadores concordam que a exposição a fatores de risco ergonômicos é um dos principais contribuintes para essas lesões.

Os riscos ocupacionais existentes no setor da mineração abrangem diversas categorias, tais como riscos físicos, químicos, biológicos, de acidentes e ergonômicos, sendo assim a exposição a esses riscos ameaçam a saúde dos trabalhadores (Sousa *et al.*, 2015; Kunda *et al.*, 2013; Reardon *et al.*, 2014). Porém, quando se direciona a pesquisa para as atividades de manutenção do sistema ferroviário, especialmente para a superestrutura da via permanente, que consiste em toda a estrutura que visa o suporte e transmissão das cargas ferroviárias, sendo responsável por viabilizar a adequada circulação de trens, há uma escassez de dados sobre os riscos que os trabalhadores que realizam tal manutenção estão expostos.

Conforme Souza *et al.* (2018), o transporte ferroviário requer rigoroso controle de padrões de confiabilidade e de seus ativos, dentre os quais preponderam as condições da via permanente, que é um dos subsistemas mais importantes de uma ferrovia. Desta forma, pode-se compreender o quão importante é o trabalho de manutenção de via permanente assim como a preservação da saúde e segurança dos trabalhadores que o executam para se tenha manutenções eficientes e proativas, promovendo produtividade e segurança sob as mais diversas condições (Dias *et al.*, 2021).

2.4 Exoesqueleto: breve histórico, tipos e aplicabilidades na indústria

Inicialmente os exoesqueletos foram desenvolvidos e testados por algum tempo para reabilitação, fins médicos e aplicações militares, só recentemente as tecnologias projetadas para tarefas ocupacionais tornaram-se disponíveis. De fato, o número de exoesqueletos destinados ao uso ocupacional está aumentando rapidamente, de fornecedores e laboratórios em todo o mundo. Diversas abordagens

de design, destinadas a apoiar regiões específicas do corpo (por exemplo, braços, costas e pernas) vêm sendo desenvolvidas (Bosch *et al.*, 2016).

O trabalho científico e tecnológico do desenvolvimento dos exoesqueletos começou no início dos 1960. O Departamento de Defesa dos EUA interessou-se por desenvolver o conceito de “armadura” elétrica para utilização em contexto militar. Essa armadura poderia aumentar as capacidades de elevação e de transporte de um soldado (Lowe *et al.*, 2019; Schnieders; Stone, 2017).

O exoesqueleto é um dispositivo capaz de gerar a energia física necessária à realização de tarefas manuais, e que poderá salvaguardar a sobrecarga da componente musculoesquelética de um determinado grupo muscular, podendo ser capaz, em determinadas situações, de diminuir os fatores de risco de lesões musculoesqueléticas (Looze *et al.*, 2016; Zhang; Huang, 2018). Trata-se de um novo tipo de sistema de cooperação entre humanos e robôs, em que a inteligência humana e o poder robótico são aprimorados em conjunto (Lee *et al.*, 2012). Esta tecnologia pode ser útil quando todas as outras medidas não surtiram efeito na mitigação do risco de lesões musculoesqueléticas ou quando a automação da tarefa não é viável devido à multiplicidade de processos de uma tarefa (Bosch *et al.*, 2016; Claus *et al.*, 2019; Fouquet *et al.*, 2015; Lima, Moro; Cotrim, 2018).

Uma vez que as disfunções musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho e fadiga ocorrem frequentemente na parte inferior das costas e na articulação do ombro (Umer *et al.*, 2018; Wixted; Shevlin; O’sullivan, 2018), os exoesqueletos ocupacionais costumam ter como alvo essas partes do corpo.

Os exoesqueletos das costas visam reduzir a carga na coluna lombar inferior, proporcionando um torque de assistência ao redor dos quadris e parte inferior da coluna. Os exoesqueletos para ombro são projetados especificamente para elevação dos braços prolongada ou repetitiva, apoiando a parte superior do braço ao trabalhar no ombro ou acima do nível do ombro. Além disso, os exoesqueletos podem ser classificados segundo o mecanismo de articulação como “ativos” e “passivos”. Os primeiros possuem um ou mais mecanismos capazes de fornecer energia (como motores elétricos e cilindros hidráulicos), que aumentam ativamente a potência do corpo humano. Os segundos, usam materiais com elasticidade ou viscosidade, como molas ou amortecedores, que têm a capacidade de acumular energia dos movimentos humanos e descarregá-la de forma a assistir os usuários quando realizam um determinado movimento (Boschi *et al.*, 2016; Looze *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2012).

(Figura 11).

Figura 11 - Exemplos de exoesqueletos ocupacionais: (a.) Noonee; (b.) Eskelex; (c.) Laevo; (d.) Suitx; (e.) Mate XT



Fonte: (a.) Noonee (Noonee, 2016); (b.) Eskelex (Maurice, 2019); (c.) Laevo (Bosch *et al.*, 2016); (d.) Suitx (2016; suitx.com); (e.) Mate XT (Comau, 2022).

O modelo da Indústria 4.0 é baseado na comunicação e contribuição de sistemas entre si e com humanos, em tempo real, buscando melhorar o desempenho dos processos produtivos, ampliar os lucros, diminuir os custos de produção e aumentar a segurança e ergonomia de operações (Schreiber, 2020). Com a chegada da Indústria 4.0, novas técnicas e equipamentos ergonômicos foram introduzidos no ambiente industrial, com o objetivo de melhorar as condições de trabalho (Russo *et al.*, 2021). A utilização de exoesqueletos é uma delas que pode acarretar inúmeras potencialidades e, por isso, existe um interesse crescente na sua utilização em contexto industrial. Contudo, são necessários dados experimentais que confirmem padrões de segurança e que as várias questões técnicas (desconforto, peso do equipamento e a compatibilidade com a anatomia e cinemática humanas, por exemplo) que dificultam o uso destes equipamentos sejam estudadas (Looze *et al.*, 2016).

Percebe-se que ao combinar as habilidades de humanos e máquinas, exoesqueletos ocupacionais podem ajudar a superar as limitações de cada um e, assim, impactar positivamente o futuro local de trabalho, reduzindo os riscos de lesões

e melhorando a atuação do trabalhador. Nesse contexto, é importante considerar estudos de campo maiores não apenas como estudos científicos, mas também como experimentos na prática, que permitem que todas as partes interessadas determinem e desenvolvam sua compreensão, tendo em vista que é de fundamental importância que todas as partes interessadas relevantes estejam, em algum grau, envolvidas na definição de quaisquer estudos maiores no campo, a fim de maximizar o impacto dos estudos em uma eventual maior aceitação do uso do exoesqueleto. . Os estudos mais recentes têm dado importantes contribuições para uma aplicação mais sólida do exoesqueleto ocupacional, como por exemplo, a melhor forma de combinar determinado exoesqueleto a um trabalhador em particular fazendo uma tarefa específica, tais contribuições estão surgindo em uma taxa de crescimento rápido, proporcionando confiança de que os benefícios potenciais de exoesqueletos ocupacionais serão benéficos.

2.5 A ergonomia e as pesquisas realizadas com exoesqueletos

Os estudos ergonômicos e suas contribuições seguem uma tendência evolutiva, assim como a indústria, gerando novas soluções, abordagens e práticas. A aplicação da ergonomia nas indústrias contribui para melhorar a eficiência, a confiabilidade e a qualidade das operações industriais. O exoesqueleto surge como uma dessas novas soluções. Porém, mesmo que a utilização de exoesqueletos possa acarretar inúmeras potencialidades, quando se fala em adoção em larga escala de exoesqueletos ocupacionais há a dependência de evidências claras de eficácia dos dispositivos. A realização de estudos de validação de campo específicos do produto é importante para permitir que as partes interessadas e tomadores de decisão, como por exemplo, empregadores, ergonomistas, departamentos de saúde e segurança, possam avaliar a eficácia dos exoesqueletos ocupacionais em suas atividades específicas (CREA *et al.*, 2021).

Estudos atuais demonstram os ganhos com a aplicação de tal solução, como o estudo de Maurice *et al.* (2019) que apresentou uma avaliação completa de um exoesqueleto leve do membro superior que oferece suporte para o braço durante o trabalho aéreo, abordando aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos observou-se que todos sugerem que o este dispositivo é uma solução promissora para reduzir doença osteomuscular relacionada ao trabalho de ombro entre trabalhadores que

realizam atividades com os suspensos, pois o mesmo afirma que há uma redução na tensão física no ombro, bem como na tensão fisiológica global, sem aumentar a tensão lombar e o equilíbrio.

Kong, *et al.* (2022), ao estudar as extremidades inferiores associadas ao uso de um exoesqueleto, com base em análises da atividade muscular através da eletromiografia (EMG) e o AnyBody Modeling System (AMS), verificou que as atividades musculares analisadas pelos dois métodos mostraram padrões semelhantes, em que o uso do exoesqueleto reduziu as cargas da parte inferior músculos das extremidades.

A recente literatura concorda com a eficácia do exoesqueleto passivo para costas, utilizado para reduzir a demanda muscular lombar durante operações envolvendo flexão/extensão do tronco no plano sagital. Durante os estudos de laboratório, as reduções na atividade dos músculos das costas foram de 10% a 44% no manuseio tarefas (Frost *et al.*, 2009), e de 10% (Ulrey; Fathallah, 2013) a 57% (Koopman *et al.*, 2019) posturas estáticas.

Pesquisa realizada em condições reais de trabalho também revelou reduções significativas (20%-25%) na atividade muscular espinal ao usar um exoesqueleto para costas passivo durante um processo de montagem que exige flexão e postural estática no setor de fabricação de automóveis (Graham, 2009).

Além disso, em relação à atividade muscular pôde-se observar reduções significativas na atividade dos músculos extensores do quadril (músculo bíceps femoral, 24%) e músculos do pescoço (músculo trapézio, 50%). Também foram observadas reduções ao usar um exoesqueleto passivo para as costas durante as tarefas de flexão estática baseadas em ensaios realizados em laboratório (Bosch *et al.*, 2016).

A atividade esmerilhamento de trilho na via permanente requer adoção de posturas estáticas e inapropriadas como flexões e torções do tronco, o que pode expor o trabalhador à exposição ao risco de carga física. Conforme citado acima, o uso do exoesqueleto para costas revela reduções significativas (20%-25%) na atividade muscular espinal, o que pode contribuir também para a atividade de esmerilhamento que requer tal postura. Até o presente momento não identificou-se nenhum estudo que tenha investigado uso do exoesqueleto passivo para as costas na atividade de esmerilhamento de trilho de via permanente.

No quadro 2 apresentam-se estudos atuais que demonstram os ganhos com a aplicação do exoesqueleto:

Quadro 2 - Estudos atuais que demonstram os ganhos com a aplicação do exoesqueleto

Título	Autores	Ano	Resumo
Objective and subjective effects of a passive exoskeleton on overhead work.	Maurice, <i>et al.</i>	2019	O uso do exoesqueleto para membro superior (PAEXO) reduz a tensão física no ombro e a tensão fisiológica geral, sem aumentar a tensão lombar ou prejudicar o equilíbrio e também sem afetar o desempenho da tarefa. As opiniões dos participantes sobre o exoesqueleto foram positivas, alinhando-se com as medidas objetivas. Portanto, o exoesqueleto testado parece ser uma solução promissora para prevenir lesões e doenças no ombro entre trabalhadores aéreos, sem impactar negativamente a produtividade.
Ergonomic Assessment of a Lower-Lim Exoskeleton through Electromyography and Anybody Modeling System	Kong, <i>et al.</i>	2019	A partir de análises da atividade muscular (eletromiografia: EMG) e do AnyBody Modeling System (AMS) para determinar a redução da carga muscular dos membros superiores e inferiores associados ao uso de um exoesqueleto. Notou-se que as atividades musculares analisadas pelos dois métodos apresentaram padrões semelhantes, na medida em que o uso do exoesqueleto reduziu as cargas dos músculos dos membros inferiores.
Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks.	Koopman <i>et al.</i>	2019	O presente estudo investigou o efeito de dois tipos diferentes (HIGH e LOW) de um exoesqueleto passivo sobre a atividade muscular, ângulos e momentos de flexão do quadril e lombar. O momento de flexão-extensão L5/S1 gerado pelos sujeitos (M) foi significativamente menor em relação ao WITHOUT para ambos os tipos em todas as posições flexionadas (75%, 50%, 25% e 0%).
The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work.	Bosch <i>et al.</i>	2016	No presente estudo foi examinado o potencial do exoesqueleto passivo sobre a atividade muscular, o desconforto e o tempo de resistência em posturas de trabalho prolongadas curvadas para a frente. Os resultados ilustraram o bom potencial deste exoesqueleto passivo para reduzir as forças musculares internas e as forças espinhais (reativas) na

			região lombar.
Effectiveness of an on- body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task: Assessment of EMG response and user accneptability.	Graham, Agnewe Stevenson	2009	O presente estudo concluiu que a eficácia e a aceitabilidade do usuário do Personal Lift-Assist Device (PLAD), auxiliar ergonômico no corpo que tem se mostrado eficaz na redução da demanda muscular lombar, poderia ser benéfico na redução de forças e desconforto em tarefas semelhantes de manuseio de materiais industriais ou manuais que colocam demandas físicas excessivas na região lombar.

Fonte: Autora (2023)

Nota-se que, os estudos mais recentes vêm evoluindo com uma aplicação mais sólida e estudo mais específico quanto o uso do exoesqueleto ocupacional. Com isso, observa-se que há um aumento na confiança dos benefícios potenciais e eficácia dos exoesqueletos ocupacionais.

2.6 Recomendações ergonômicas para o uso de exoesqueletos

Há diferentes metodologias de estudos entre laboratório e campos. Enquanto os primeiros são mais amplamente relatados em artigos científicos, eles exibem uma generalização limitada de descobertas para cenários do mundo real. Já os estudos de campo são limitados em tamanhos de amostra e frequentemente focados apenas em métricas subjetivas.

Para aquisição desta tecnologia, a análise dos custos e benefícios deve ser comunicada a todas as partes interessadas

para facilitar tomada de decisão informada, para que cada stakeholder possa desenvolver seu papel específico em relação a essa inovação. O estabelecimento de restrições de saúde e segurança é necessário e precisa ser aplicado inicialmente (Bogue, 2018; Gopura *et al.*, 2016; Mcfarland; Fischer, 2019; Torricelli *et al.*, 2020).

Na prática e nos estudos científicos, acredita-se que para implantar o exoesqueleto ocupacional há a necessidade de estudos de campo que possam ajudar a identificar e monitorar os possíveis efeitos colaterais relacionados ao uso do exoesqueleto em situações de trabalho real, bem como fornece uma base de conhecimento científico abrangente para apoiar a revisão de riscos ergonômicos métodos de avaliação, normas e regulamentos de segurança e a definição de diretrizes e práticas para a seleção e uso de exoesqueletos ocupacionais. Além de abordagem baseada em conhecimento passo a passo, baseada em investigação cuidadosa da biomecânica da tarefa de trabalho, usabilidade, aceitabilidade e experiência do usuário.

Veronesi e Aquino (2020), ao estudar a confiabilidade e a eficiência de dois modelos de exoesqueleto para a linha de produção de manufatura, sendo um exoesqueleto robótico de ombro e outro exoesqueleto elástico para a coluna lombar, pôde observar que no teste do exoesqueleto lombar elástico mostrou-se estatisticamente confiável pelo teste t de Student em uma das três atividades testadas, com o exoesqueleto apresentando um aumento de 17% na força lombar.

De acordo com Ippolito, Constantinescu e Riedel (2020), o planejamento e a otimização de locais de trabalho centrados no homem requerem uma nova metodologia, que permite a integração de exoesqueletos como um novo recurso de manufatura ou ferramenta de trabalho para superar enormes problemas de ergonomia ao manipular peças pesadas ou trabalhar. Como os exoesqueletos suportam segmentos individuais do corpo humano cada uma dessas partes do corpo devem ser estudadas especificamente para desenvolver um exoesqueleto para que estes possam ser adaptados à estrutura dos membros, articulações e músculos do trabalhador por meio de segmentos, oferecendo-lhe, de forma inteligente, flexível e precisão, potência e resistência.

A prevenção das condições de saúde dos trabalhadores é uma atividade central, tendo em vista que muitos trabalhadores queixam-se de dores nas costas. Conforme pode-se observar nas últimas estatísticas European Survey on Working Conditions (ESWC), 43% dos trabalhadores europeus queixam-se de dores nas costas,

seguidas de dores musculares no pescoço ou membros superiores (42%), fadiga geral (35%) e dores no quadril ou membros inferiores (29%) (Parent-Thirion *et al.*, 2017). Com isso, a integração da tecnologia de exoesqueleto está se expandindo para a indústria visando fornecer equipamentos adequados para prevenir os distúrbios musculoesqueléticos, assim como garantir a flexibilidade exigida pela produção e processos (Bräunig, 2013).

Ippolito, Constantinescu e Riedel (2020) dissertam sobre a necessidade da análise e avaliação ergonômica do local de trabalho, dos produtos e das ferramentas de trabalho usando o processo de simulação por meio de software apropriado capaz de criar uma melhor adaptação entre o homem e o exoesqueleto, assim como da análise dos tipos de exoesqueletos apropriados para os trabalhadores daquele ambiente.

A partir da literatura observa-se que as principais recomendações ergonômicas para o uso do exoesqueleto são as seguintes (quadro 3):

Quadro 3 - Principais recomendações ergonômicas para o uso do exoesqueleto

Título	Autores	Revista	Ano	Local	Resumo
Benchmarking wearable robots: challenges and recommendations from functional, user experience, and methodological perspectives.	Toricelli <i>et al.</i>	Frontiers in Robotics and AI.	2020	Espanha, Bélgica, Suíça, Itália, Islândia, Alemanha	A adequação dos robôs vestíveis depende fortemente da experiência e da interação com seus usuários. As experiências provavelmente refletirão os benefícios percebidos em termos de função física, mas os aspectos perceptuais, emocionais e cognitivos também precisam ser considerados.
Developments in hardware systems of active upper-limb exoskeleton robots: A review.	Gopura, <i>et al.</i>	Robotics and Autonomous Systems	2016	Sri Lanka, Japão, Canadá	Para aquisição desta tecnologia deve ser considerado os custos e ser desenvolvido o papel específico do usuário em relação a essa inovação.
Exoskeletons-a review of industrial applications. Industrial Robot.	Bogue	An International Journal,	2018	Itália	O objetivo do desenvolvimento de exoesqueletos robóticos industriais é auxiliar os trabalhadores em tarefas fisicamente exigentes e, assim, reduzir a incidência de lesões industriais e as consequências financeiras associadas.
Considerations for industrial use: a systematic review of the impact of active and passive upper limb exoskeletons on physical exposures.	Mcfarland e Fischer	IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors	2019	Reino Unido	A pesquisa de alta qualidade deve continuar explorando a eficácia dos sistemas ativos e dos exoesqueletos ativos e passivos como intervenções para reduzir lesões musculoesqueléticas. A qualidade da investigação sobre a eficácia dos exoesqueletos pode ser aprimorada incluindo amostras representativas de trabalhadores industriais e aumentando o poder do estudo.

Análise da confiabilidade e eficiência de exoesqueletos em linha de produção na manufatura.	Veronesi e Aquino	Fisioterapia Brasil	2020	Brasil	Considerando os resultados encontrados no estudo ergonômico sobre a eficiência de dispositivos preventivos, como o exoesqueleto elástico e biônico, pode-se concluir que para real eficiência do sistema preventivo, assumindo assim um efeito de controle dos riscos ergonômicos da tarefa, é necessário seguir o protocolo de aplicabilidade do exoesqueleto.
Berechnung des internationalen "Return on Prevention" für Unternehmen - Kosten und Nutzen von Investitionen in den betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz	Bräunig	DGUV Report	2013	Alemanha	Disserta sobre a integração da tecnologia de exoesqueleto para a indústria visando fornecer equipamentos adequados para prevenir os distúrbios músculo- esqueléticos, assim como garantir a flexibilidade exigida pela produção e processo.
Holistic planning and optimization of human-centred workplaces with integrated Exoskeleton technology.	Ippolito, Constantinescu e Riedel	Procedia CIRP	2020	Alemanha	A integração de exoesqueletos no local de trabalho deve incluir informações específicas sobre ferramentas de análise ergonômica e um banco de dados atualizado dos tipos de exoesqueleto. Avaliar os sentimentos e a satisfação dos trabalhadores é essencial para garantir um ambiente de trabalho seguro e confortável. Novos experimentos estão planejados para determinar se o uso do exoesqueleto é necessário durante todo o período de trabalho ou apenas em momentos específicos.

Fonte: Autora (2023)

Em síntese, as recomendações ergonômicas para o uso do exoesqueleto focam em: interação com os usuários, aumento de amostras representativas de trabalhadores industriais e fortalecimento das pesquisas sobre sua eficácia, também em fornecimento de informações sobre as condições físicas e psíquicas dos usuários, além disso é importante considerar a avaliação da satisfação dos trabalhadores para garantir um ambiente de trabalho seguro e confortável.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

3.1 Tipificação da pesquisa

A presente pesquisa refere-se a uma pesquisa de natureza aplicada, quanto a sua natureza e descritiva e exploratória, quanto aos objetivos e nível de conhecimento produzido, além de ser um estudo de caso, quanto aos procedimentos técnicos e, ainda, sob abordagem quali-quantitativa.

A pesquisa aplicada concentra-se em torno dos problemas presentes nas atividades das instituições, organizações, grupos ou atores sociais. Ela está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções. Responde a uma demanda formulada por “clientes, atores sociais ou instituições” (Thiollent, 2009, p. 36). Cumprindo as exigências da pesquisa aplicada, será o utilizado o Método de Análise Macroergonômica do Trabalho (Guimarães, 1999) através da fase 0 - fase de lançamento, fase 1 - apreciação ergonômica, que é a fase de levantamento; e a fase 2 - diagnose, que é a fase de avaliação das condições e dimensões físicas do posto de trabalho e seus expostos. As demais fases não foram desenvolvidas.

De acordo com Triviños (1995) a pesquisa descritiva por se tratar de um estudo qualitativo e quantitativo, busca conhecer e descrever a realidade do campo de pesquisa. Tendo em vista ampliar e aprofundar os conhecimentos acerca de uma temática específica e se dar-se-á a partir de um estudo de campo para a partir da investigação buscar levantar dados para “fornecer o conhecimento aprofundado de uma realidade delimitada que os resultados atingidos podem permitir e formular hipóteses para o encaminhamento de outras pesquisas” (Triviños, 1995, p. 111). Os tratamentos quantitativos e qualitativos dos resultados podem ser complementares, enriquecendo a análise e as discussões finais (Minayo, 1997), (Bryman, 1992 *apud* Flick, 2009). A pesquisa descritiva consiste em descobrir e observar fenômenos, procurando descrevê-los, classificá-los e interpretá-los. Sob o ponto de vista da natureza, esta pesquisa classifica-se como descritiva de caráter exploratório, pois visa gerar informações sobre a carga física dos oficiais de via permanente durante a realização da atividade de esmerilhamento de trilho.

De acordo com Gil (1991) e Vergara (2000), a pesquisa pode ser denominada como exploratória, pois se destina a delinear as percepções de pessoas

quanto às condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e analisar se a utilização de um exoesqueleto passivo influencia nos fatores de riscos relacionados à carga física na atividade de esmerilhamento de trilho, não tendo sido encontrados estudos descritivos anteriores, para o segmento ao qual a pesquisa foi dirigida.

O estudo de caso é geralmente associado à pesquisa descritiva ou exploratória (Yin, 2009). Sua principal característica é a intensidade do estudo do objeto, indivíduo, grupo, organização, incidente ou situação. Pode envolver um único ou múltiplos casos, combinando diversas técnicas para coleta de dados, como análise documental, entrevistas, questionários e observações. As evidências podem ser qualitativas e quantitativas. Por exemplo, é comum coletar os dados por meio de entrevistas ou observações (coleta qualitativa) e codificar esses dados de forma que seja possível fazer análises estatísticas sobre as informações (Yin, 2009) (Elsenhardt, 1989). Desta forma, entende-se que o fenômeno em estudo está presente no caso do esmerilhamento de trilho em uma indústria mineradora. Nesta pesquisa houve o estudo da atividade de esmerilhamento de trilho realizada por oficiais de via permanente de uma indústria de mineração. Entende-se que não há como generalizar resultados encontrados, os resultados condizem apenas a esta empresa estudada.

3.2 Análise macroergonômica do trabalho (Guimarães, 1999)

Para análise da atividade de esmerilhamento de trilho foi adotado o método de Análise Macroergonômica do Trabalho (AMT) proposto por Guimarães (1999). O método se caracteriza por ser participativo de caráter metodológico de pesquisa-ação estruturado para ser utilizado pelo pesquisador. Segundo a autora, a AMT parte do princípio que um Programa de Ergonomia que deve identificar, monitorar e modificar qualquer atividade que coloque em risco a qualidade de vida do trabalhador.

A AMT prevê a participação dos trabalhadores de forma direta e indireta para a realização do método e aborda questões como o ambiente e o posto de trabalho, a organização e o conteúdo do trabalho e a qualidade de vida como um todo. Seu desenvolvimento compreende as seguintes etapas: Fase 0 - lançamento do projeto, Fase 1 - levantamento ou apreciação ergonômica, Fase 2 - diagnose ergonômica ou análise da situação, Fase 3 - proposta de soluções de melhoria, Fase 4 - validação de soluções e Fase 5 - detalhamento ergonômico (Guimarães, 1999).

No presente trabalho, foram abrangidas as fases 0, 1 e 2 da AMT.

3.2.1 Fase 0: sensibilização dos trabalhadores

Esta etapa consiste na apresentação de todas as fases a serem implementadas, envolvendo os colaboradores da área, gerentes e demais gestores interessados no sucesso da intervenção, divulgando cronograma e tirando as possíveis dúvidas que possam existir sobre o trabalho (Mendes, 2017)

Nesta fase houve a apresentação dos objetivos e cronograma da pesquisa para os gestores da equipe e para os oficiais de via permanente. Dessa maneira foi realizada, inicialmente uma apresentação para os dois gestores da equipe de manutenção de via permanente no dia 06 dezembro de 2023 às 9h para em seguida no dia 11 de dezembro de 2023 às 7h30min evoluir para a apresentação aos 19 oficiais de via permanente com a presença dos dois gestores. Na ocasião também participaram a ergonômista que atende o setor, estagiária de ergonomia e membros da equipe de elétrica que também acompanham o diálogo de saúde e segurança, momento em que foi realizada a reunião. A apresentação se deu forma de conversa, no momento do diálogo de saúde e segurança. Além da apresentação dos objetivos da pesquisa, também se enfatizou importância da pesquisa aos participantes sociedade e meio científico. Foram apresentadas nesta oportunidade, a carta de anuência da empresa participante e o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE), termo de confidencialidade e sobre a liberdade de escolha, para permanecer ou se retirar em qualquer fase da pesquisa e sigilo das identidades dos participantes e assegurar que os dados os dados coletados serão utilizados, apenas para as finalidades científicas desta pesquisa.

3.2.2. Fase 1: apreciação ergonômica

Esta fase consiste no levantamento inicial das demandas ergonômicas da empresa, é executado realizando-se observações para verificação sobre quem faz, o que faz, quando e onde, tendo, para isso, a necessidade de interação com os usuários e equipes que possuem relação com o trabalho (Ferreira, 2015). Para a execução dessa etapa, pode-se utilizar entrevistas abertas, elencando-se os itens mais

comentados e explicitados pelos empregados, para posteriormente elaborar-se um questionário com o nível de satisfação ou insatisfação quanto a esses pontos, os quais, após compilação e priorização, comporão os Itens de Demanda Ergonômica (IDEs) principais a serem tratados com as ações geradas.

Na presente pesquisa foram identificados os Itens de Demanda Ergonômica (IDEs) por meio de entrevistas e questionários com os oficiais de via permanente e pelo levantamento da situação por meio de observações assistemáticas (registros em caderneta de campo e em fotos e vídeos da atividade de esmerilhamento de trilho. O levantamento dos dados na primeira fase da pesquisa foi realizado por meio de visitas ao setor de manutenção de via permanente. Foram entrevistados 6 oficiais de via permanente, que trabalham no setor de manutenção de via permanente e executam a atividade de esmerilhamento de trilho, o que corresponde a 30% da população total. Os resultados das entrevistas serviram de base para a elaboração do questionário que foi aplicado com 19 trabalhadores do setor, abordando 100% da população.

A) Identificação dos IDEs (Itens de Demanda Ergonômica)

A identificação da demanda ergonômica dos oficiais de via permanente foi realizada por meio de entrevista não induzida de acordo com o método Design Marcroergonômico (DM) proposto por Fogliatto & Guimarães (1999). A implementação do DM, neste trabalho, contempla a etapa: 1) identificação do usuário e coleta organizada de informações acerca de sua demanda ergonômica. Priorização dos itens de demanda ergonômica (IDEs) identificados pelo usuário; 2) a priorização utiliza a própria informação coletada em 1, baseando-se, por exemplo, em características do conjunto de dados amostrados (frequências, ordem de menção de itens, etc.). O objetivo nesta etapa é criar um ranking de itens demandados; 3) incorporação da opinião de especialistas (ergonomistas, designers, engenheiros etc.) com vistas à correção de distorções apresentadas no ranking obtido em 2, bem como incorporação de itens pertinentes de demanda ergonômica não identificados pelo usuário. Determina-se, assim, um ranking corrigido de itens de demanda ergonômica a ser utilizado nas etapas seguintes da metodologia.

B) Entrevistas abertas

A identificação da demanda ergonômica dos funcionários foi iniciada em 03/01/2024 por meio de entrevista não induzida de acordo com o método proposto por Fogliatto & Guimarães (1999). A técnica aplicada permite obter a declaração espontânea dos funcionários a respeito de seu trabalho. Para tanto, pediu-se a cada funcionário que ele falasse sobre o seu trabalho (os entrevistadores evitaram qualquer tipo de indução).

De acordo com Fogliatto e Guimarães (1999) para efeito de priorização dos Itens de Demanda Ergonômica (IDEs), a ordem de menção de cada item é utilizada como peso de importância pelo recíproco da respectiva posição; ou seja, ao item mencionado na posição é atribuído o peso $1/p$. Dessa forma, o primeiro fator mencionado receberá o peso $1/1=1$ o segundo $1/2 = 0,5$, o terceiro $1/3 = 0,33$, e assim por diante. A tendência do uso da função recíproca é de valorizar os primeiros itens mencionados, sendo que a partir do quarto item a diferença passa a ser menos expressiva. A soma dos pesos relativos a cada item dá origem ao ranking de importância dos itens, que serviu de guia para a elaboração de um questionário a ser preenchido por todos os trabalhadores.

As respostas das entrevistas foram tabuladas em planilha Excel® e analisados pela pesquisadora. Foram expurgadas as informações não pertinentes e agrupadas as respostas por afinidade, ou seja, as respostas semelhantes foram consideradas como um mesmo Item de Demanda Ergonômica (IDE). A tabulação das respostas de todos os respondentes permitiu o estabelecimento de um ranking de importância quanto à demanda ergonômica dos usuários (oficiais de via permanente). As entrevistas foram anônimas, isto é, não requereram a identificação dos entrevistados e foram escritas em caderneta de campo. As entrevistas foram efetuadas em dois grupos. A frequência e a ordem dos itens mencionados pelos entrevistados serviram de base para a elaboração de um questionário fechado. Para calcular a média utilizou-se Microsoft Office Excel® nas linhas foram descritos os IDEs e formados os constructos, nas colunas foram registradas as respostas de todos os participantes na escala de 0 a 15. O resultado do IDE é a média obtida pelo somatório das respostas dividida pelo total de respondentes. O resultado dos questionários indicou as prioridades dos IDEs a serem consideradas na pesquisa.

As entrevistas foram efetuadas em grupo, com os trabalhadores das duas turmas do turno diurno, por um entrevistador (pesquisadora) e tiveram duração de 10 a 20 minutos. Foram explicitados itens relativos ao ambiente, biomecânico ou de posto de trabalho, organização do trabalho e empresa. Foram entrevistados 19 funcionários (100%) do total da população de 19 funcionários. Ver a distribuição dos entrevistados na tabela 1.

Tabela 1 - Número de entrevistados distribuídos por setor

Manutenção de Via Permanente - Entrevistas		
Turma	Nº de funcionários	Nº de entrevistados
Grupo 1	10	10
Grupo 2	09	09

Fonte: Autora (2024)

C) Observação assistemática

De acordo com Rudio (1986), a observação assistemática - chamada também de “ocasional”, “simples”, “não estruturada” - é a que se realiza, sem planejamento e sem controle anteriormente elaborados, como decorrência de fenômenos que surgem de imprevisto. Para as ciências do comportamento humano, a observação ocasional é muitas vezes a única oportunidade para estudar determinados fenômenos. A condição para se observar é não perder a oportunidade de “ver” o que está acontecendo. Isto exige do pesquisador uma atitude de prontidão, isto é, de estar sempre preparado e atento ao que vai acontecer, na área da pesquisa em que está interessado.

Segundo Moura *et al.* (1998), a observação assistemática, também denominada não estruturada ou livre, não envolve o estabelecimento de critérios prévios para orientar o registro do fenômeno a ser observado. Esse tipo de procedimento utiliza, assim, de narrativas de formato flexível, que descrevem minuciosamente, e de modo mais fiel possível, as diferentes facetas e modalidades que caracterizam os sujeitos, grupos ou situações observadas.

A observação assistemática foi realizada durante a execução da atividade de esmerilhamento de trilho por meio de registro em vídeo no dia primeiro de 01 de abril de 2024, no turno diurno das 9h às 11h30. Os dados relacionados às tarefas foram registrados em bloco de notas digital.

D) Questionários

Com base nos dados da entrevista foi elaborado um questionário com quarenta questões relativas aos itens mencionados nas entrevistas. O nível de satisfação do sujeito (respondente/oficial de via permanente) com relação a cada questão foi aferido por meio de uma escala de avaliação contínua, sugerida por Stone *et al.* (1974). A metodologia do Design Macroergonômico (Fogliatto; Guimarães, 1999), utilizada nesta pesquisa, recomenda o uso desta escala com duas âncoras nas extremidades (insatisfeito e satisfeito). Esta escala tem 15 cm e ao longo dela o sujeito (respondente) deve marcar a sua percepção sobre o item. A intensidade de cada resposta pode variar entre 0 (zero) e 15 (quinze). O questionário não requer o nome dos respondentes, mas requer dados relativos às variáveis da pesquisa (peso, idade, tempo de trabalho, etc.). Diferentemente da ponderação das entrevistas (que valoriza a soma dos pesos atribuídos a cada item pelos entrevistados) nos questionários o peso do item é gerado por sua média aritmética.

O questionário foi elaborado para quantificar o impacto dos IDEs citados e priorizados nas entrevistas abertas. No cabeçalho do questionário, foram inseridos a justificativa da pesquisa, esclarecimentos sobre os objetivos e apresentadas informações sobre a aplicação e a forma de preenchimento do questionário; também foram solicitados dados pessoais dos sujeitos (cargo, idade, sexo, peso, estatura, destreza manual, tempo de trabalho no setor e na empresa).

A aplicação do questionário (Apêndice E) ocorreu em abril de 2024 e envolveu um pré-teste com cinco oficiais de via permanente para verificar a facilidade de entendimento das questões e a forma de preenchimento. Seguido da análise de confiabilidade realizada com uso do Microsoft Office Excel® onde foram compiladas as 40 (linhas) questões e respostas dos cinco participantes (colunas). Para calcular a confiabilidade utilizou-se a fórmula para cálculo de Coeficiente Alfa de Cronbach, descrito por Lee J. Cronbach (Cronbach, 1951), que consiste em uma das ferramentas estatísticas mais importantes e difundidas em pesquisas que envolvem a construção de testes e sua aplicação. O mesmo é calculado a partir do somatório da variância dos itens individuais e da soma da variância de cada avaliador, pela equação: onde: k corresponde ao número de itens (perguntas) do questionário; S^2_i corresponde à variância de cada item; S^2_t corresponde à variância total do questionário (soma das variâncias dos avaliadores) (Cronbach, 2004).

Para encontrar a variância utilizou-se o comando no Excel® =VAR.P(somatório dos valores/respostas de todos os entrevistados por questão). Para encontrar o somatório da variância dos itens utilizou-se o comando no Microsoft Office Excel® =VAR.P(somatório de todos os somatórios da variância de todas as respostas de todos os entrevistados por questão). Para encontrar a variância total do instrumento fez-se a somatória dos itens utilizado o comando Microsoft Office Excel® =VAR.P(somatório de todas as respostas de todos os itens/questões). O coeficiente de confiabilidade do questionário foi encontrado através da aplicação da Microsoft Office Excel® = número de questões = 40/ (número de questões -1) *1- (variância de cada item/variância total do questionário). A principal razão para efetuar este estudo preliminar foi “avaliar a confiabilidade do questionário a utilizar”. A avaliação de consistência interna foi feita por teste de Coeficiente Alfa de Cronbach (Cronbach, 2004) (Quadro 4).

Quadro 4 - Matriz de confiabilidade

Limite	Classificação da confiabilidade
Menor que 0,53	Confiabilidade nula
0,54 a 0,59	Confiabilidade baixa
0,60 a 0,65	Confiável
0,66 a 0,71	Muito confiável
0,72 a 0,99	Excelente confiabilidade
1	Perfeita confiabilidade

Fonte: Cronbach (2004)

Após a aplicação do teste de confiabilidade, estando o questionário aprovado, a versão final do questionário foi aplicada aos oficiais de via permanente do setor de manutenção de via permanente também no período de abril de 2024, visando abranger toda a população de trabalhadores que realizam a atividade de esmerilhamento de trilho. A média de tempo para preenchimento foi de cerca de 15 minutos, em três encontros.

Para calcular a média utilizou-se Microsoft Office Excel® nas linhas foram descritos os IDEs e formados os constructos, nas colunas foram registradas as respostas de todos os participantes na escala de 0 a 15. O resultado do IDE é a média obtida pelo somatório das respostas dividida pelo total de respondentes.

A técnica da matriz GUT descrita pelas autoras Moraes e Mont'Alvão (2009) do Método Intervenção Ergonomizadora foi aplicada apenas para auxiliar a definir a ordem de prioridade de correção. A matriz de GUT consiste em uma ferramenta utilizada para priorizar problemas ou situações com base em três critérios: Gravidade, Urgência e Tendência. Essa matriz auxilia na tomada de decisões ao classificar e comparar diferentes problemas ou situações, permitindo uma abordagem mais estruturada na resolução de questões prioritárias. A sigla GUT representa cada um dos critérios: gravidade (refere-se à avaliação da gravidade ou impacto do problema), urgência (refere-se à avaliação da urgência ou prazo para resolução do problema) e tendência (refere-se à avaliação da tendência ou evolução do problema ao longo do tempo). A matriz GUT é construída em forma de tabela, onde cada problema é listado em uma linha e os critérios de Gravidade, Urgência e Tendência são respeitados para cada problema, conforme tabela 2 (Gallegos, 2023).

Tabela 2 - Representação da Matriz GUT

VALOR	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	GxUxT
5	Os prejuízos e/ou as dificuldades são extremamente graves	É necessária uma ação imediata	Se nada for feito a situação irá piorar rapidamente	125
4	Muito grave	Alguma urgência	Vai piorar em pouco tempo	64
3	Grave	Mais cedo possível	Vai piorar a médio prazo	27
2	Pouco grave	Pode esperar um pouco	Vai piorar, mas a longo prazo	8
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar	1

Fonte: Daychoum (2012)

3.2.3. Fase 2: Diagnose ergonômica no trabalho dos oficiais de via permanente

Após o levantamento e priorização dos problemas da etapa anterior, faz-se o detalhamento e aprofundamento da análise para as situações mais críticas, utilizando-se, para isso, alguma interação com as pessoas, mas com uma exigência bem maior da equipe de ergonomistas, findando a etapa com um relatório, que

confirma ou refuta as hipóteses iniciais da pesquisa. Para a concepção dessa etapa, é necessário o uso de técnicas ergonômicas, as quais dependerão muito dos tipos de atividades desenvolvidas pelos colaboradores no ambiente estudado (Mendes, 2017).

Na fase de diagnose abrangeu-se o projeto de experimentos que contemplaram a mensuração de parâmetros relacionados à carga física dos oficiais de via permanente por meio das técnicas de análise das posturas adotadas pela técnica REBA (Hignett & Mcatamney, 2000). Para avaliar os níveis de desconforto/dor, foi utilizado o Diagrama de Segmentos Corporais - Corlett (Mcatamney; Corlett, 1993) e para avaliação da força muscular isométrica da coluna lombar foi utilizada a dinamometria.

A mensuração dos parâmetros aconteceu antes e após a atividade, sem uso e com uso do exoesqueleto. O modelo utilizado foi o LAEVO® (Figura 1), devido suas características voltadas à redução de sobrecarga na região lombar da coluna vertebral. Esse modelo de exoesqueleto tem por característica transferir os esforços resultantes na coluna devido inclinação do corpo à frente para a execução do trabalho – através de hastes metálicas (em azul, na Figura 12), para os membros inferiores. Há, também, a funcionalidade de acionar e bloquear esse mecanismo de transferência, possibilitando maior conforto em outras atividades ou até mesmo ao caminhar.

Figura 12 - Modelo de exoesqueleto



Fonte: Iturri (2022)

Nesta etapa foi realizado um pré-teste de todas as medições requeridas ao estudo, antes da coleta de dados propriamente dita, de uma pequena amostra da população, 5 trabalhadores, com o intuito de analisar o comportamento e as possibilidades de se viabilizar o projeto estipulado. Como não houve intercorrências na aplicação das técnicas nos cinco trabalhadores, evoluiu-se com a aplicação das técnicas em todos os oficiais de via permanente que participaram da pesquisa em que estes eram observados, antes e após as atividades, com e sem exoesqueleto. Vale dizer, ainda, que a amostragem da presente pesquisa foi composta por 15 (quinze) trabalhadores da empresa do setor de manutenção de via permanente de uma indústria de mineração.

O cálculo amostral foi baseado na comparação paramétrica das médias dos desfechos entre os participantes em dois momentos (com e sem exoesqueleto), utilizando o software G*Power 3.1.9.4 (Faul *et al.*, 2007). Foram utilizados como parâmetros para o cálculo: análise bicaudal, tamanho de efeito grande ($d=0,8$), probabilidade de erro alfa de 5% ($p<0,05$) e poder de teste fixado em 0,80 (80%). Serão calculados os valores médios e desvios padrão para a descrição dos dados contínuos e, frequências absolutas (n) e relativas (%) para as variáveis categóricas. A distribuição dos dados das variáveis contínuas foi testada por meio da análise de assimetria e curtose, bem como, pelo teste Shapiro-Wilk. A comparação do nível de carga física dos trabalhadores com e sem exoesqueleto foi realizada por meio dos testes t para amostras pareadas, se a distribuição dos dados for paramétrica, ou Wilcoxon para amostras pareadas, se a distribuição for não-paramétrica. O teste d de Cohen foi utilizado para determinar os tamanhos de efeito, utilizando a classificação $0,20 \leq d < 0,50$ para valores pequenos, $0,50 \leq d < 0,80$ para valores médios e $d \geq 0,80$ para valores grandes (Cohen 1988). Para todas as análises foi adotado o nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises serão feitas por meio do IBM SPSS Statistics (versão 26.0; Armonk, New York, IBM Corp.).

A) Análise da Tarefa

Para a padronização da coleta de dados, foi montado um protocolo de registro de tarefas o qual apresentou quatro sessões: 1) relativa aos dados gerais (sujeito/colaborador da pesquisa e a atividade que foi observada); 2) questões que poderiam influenciar no experimento, como: quantas vezes a atividade foi realizada antes do início da observação; sobre a prática de esportes e sua frequência e, por fim,

uma pergunta sobre patologia pregressa na coluna vertebral; 3) um quadro onde foram anotados o horário inicial e o final da execução da atividade; 4) um quadro onde foram registrados a tarefa e o momento (horário) em que é realizada para em seguida montar o fluxograma das atividades da tarefa. Foram registradas as atividades das tarefas da população amostral composta por 15 oficiais de via permanente (Apêndice F).

O termo “tarefa” pode assumir uma interpretação diferente segundo vários autores (Storrs, 1995) (Bodart, 1994), (Preece, 2002). A existência de várias definições de tarefa implica na existência de diferentes métodos para Análise de tarefa e de diferentes modelos de tarefa para representar seus resultados segundo estas diferentes perspectivas.

A análise da tarefa em um domínio específico pode produzir uma descrição explícita de tarefas chamada Modelo da Tarefa. Muitos modelos da tarefa são usados para representar os resultados da análise de tarefa, cada modelo enfatizando uma perspectiva. Conforme Paternó (2001), “Modelo de Tarefa (MT) é uma descrição lógica das atividades a serem executadas para alcançar os objetivos do usuário.”

Segundo Stammers (1990 *apud* Moraes e Mont’alvão, 2003), todas as técnicas de análise da tarefa objetivam a produção de informação relevante para o projeto de um novo sistema. Esta etapa é concluída com a apresentação de soluções/recomendações para os problemas encontrados.

B) Observação sistemática para análise postural do trabalho dos oficiais de via permanente

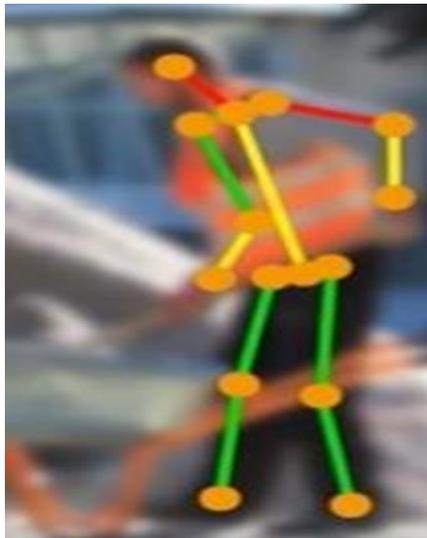
Conforme Rudio (1986), a observação sistemática - chamada também de “planejada”, “estruturada” ou “controlada” - é a que se realiza em condições controladas para se responder a propósitos, que foram anteriormente definidos. Requer planejamento e necessita de operações específicas para o seu desenvolvimento. Na observação sistemática, o observador sabe o que procura e o que carece da importância em determinada situação, deve ser objetivo, reconhecer possíveis erros e eliminar sua influência sobre o que vê ou recolhe.

Para mapear os movimentos e compreender as exigências físicas da atividade de esmerilhamento de trilho na via permanente foi utilizado o sistema Kinebot (www.kinebot.com.br), que consiste em uma ferramenta computacional que através do uso de inteligência artificial identifica os ângulos entre os segmentos do

trabalhador 30x/segundo (Klein et al., 2021; Zanon *et al.*, 2022). A configuração do sistema Kinebot permite avaliar os ângulos e apresentar os resultados baseados na técnica RULA (Rapid Upper Limb Assessment), desenvolvida por Mcatamney e Corlett, em 1993 para avaliação da exposição do trabalhador considerando riscos posturais e atividades musculares inadequadas (Mcatamney; Corlett, 1993), assim como RULA, REBA, MURI, OWAS entre outras.

Na presente pesquisa o sistema Kinebot foi utilizado apenas para avaliação dos ângulos abordando um estudo cinesiológico para descrição de posturas (variação angular e amplitudes de movimentos), e, assim, colaborar na análise da tarefa e descrição postural, cinesiológica, de cada postura adotada ao longo da realização das tarefas com o objetivo de identificar, em qual momento da realização das tarefas há posturas mais inadequadas, em termos de movimentos realizados (cinesiologia), considerando os princípios da biomecânica. Essa etapa, mais descritiva, antecede a fase de mensuração do desconforto/dor e nível de risco postural.

Figura 13 - Sistema Kinebot



Fonte: Kinebot (2024)

C) Diagrama de Segmentos Corporais (Corlett, 1995)

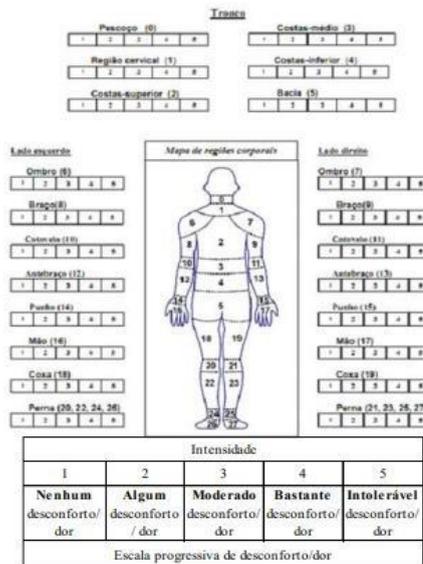
Para avaliação da percepção de desconforto/dor do oficial de de via permanente foi utilizado o diagrama de Corlett, instrumento reconhecido e validado, preciso e de fácil aplicação, sendo um dos métodos de avaliação das sensações subjetivas de desconforto e dor mais utilizados na Ergonomia (Kawase, 2006). O Diagrama de Corlett e Manenica é considerado como uma ferramenta qualitativa e

que se constitui em uma técnica de avaliação de desconforto postural por meio de mapas das regiões corporais, onde varia o local e a intensidade da dor (Souza; Filho, 2017 *apud* Santos, 2020).

O Diagrama consiste na ilustração do corpo humano, visto de forma anterior e dividido em 22 segmentos corporais, sendo seis segmentos únicos e 16 segmentos duplos (direito e esquerdo), tendo o segmento perna subdividido em 4 partes; a identificação das partes do corpo é feita através de nome e número, em virtude de a identificação apenas por nome pode causar dificuldades na interpretação por parte de alguns entrevistados; neste, o sujeito pode admitir cinco respostas para a intensidade de desconforto/dor em cada parte do corpo: (1) nenhum, (2) algum desconforto, (3) moderado, (4) bastante e (5) extremo (Souza; Filho, 2017 *apud* Santos, 2020).

A técnica foi aplicada em maio de 2024 com e sem o uso do exoesqueleto, antes e após a realização do esmerilhamento de trilho, a partir da sinalização dos participantes no esquema corporal Corlett e Manenica (1980) dos locais do corpo que sentem dor/desconforto em decorrência de seu trabalho (Figura 13). A análise ocorreu através da tabulação dos questionários, da escala de avaliação e do Diagrama de Segmentos Corporais (Corlett, 1995) e cálculo das médias das respostas obtidas sobre cada área da região corporal. Na elaboração dos gráficos de desconforto/dor considerou-se a média de cada área do corpo antes e após a atividade, com e sem o uso do exoesqueleto.

Figura 14- Diagrama de Corlett e Manenica



Fonte: Diniz (1999)

D) REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) (Hignett & Mcatamney, 2000)

O registro sistemático da postura ocupacional do oficial de via permanente durante a realização do seu trabalho foi efetuado em situação real por meio de registro em vídeo no local de execução da atividade ao longo da via permanente. O registro foi efetuado por meio de uma câmera de celular armada em um tripé (figura 15) e posicionada num plano sagital, em relação aos oficiais de via permanente, para a análise do quadro das posturas assumidas e descrição cinesiológica dos principais movimentos e variações angulares baseando-se nos diagramas de segmentos corporais propostos pela técnica REBA (Hignett & Mcatamney, 2000) (figura 16).

O sistema de pontuações em tabelas, de forma individualizada, analisa cada segmento do corpo individualmente, mas separados em grupos com pontuações em tabelas pré-determinadas: Grupo A - tronco, pescoço e pernas; Grupo B - membros superiores (braço, antebraço e pulso). No grupo B, a pontuação foi calculada para cada lado (direita e esquerda) dos segmentos do corpo. O método já define os parâmetros de pontuação para a variação do ângulo de cada segmento do corpo, de acordo com o grupo em que ele pertence (Souza e Rodrigues, 2006). Num segundo momento, foi utilizada a técnica REBA para a avaliação das posturas assumidas, por meio do software REBA versão 1.3 (Neese Consulting Company, 2001) (figura 17). A técnica REBA foi aplicada às atividades de esmerilhamento de trilho com e sem o uso do exoesqueleto. Nestas atividades foi realizada a coleta em 3 momentos: 20 minutos, nos 20 minutos equivalentes à metade da atividade últimos 20 minutos da atividade realizada. O intervalo entre as observações foi de 30 segundos.

Figura 15 - Câmera de celular armada em um tripé e posicionada num plano sagital



Fonte: Autora (2024)

Figura 16- Avaliação rápida do corpo inteiro (REBA)

REBA Employee Assessment Worksheet

Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 35 (2004) 267-305

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

+1, +2, +3, +4

Step 1a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +2

Step 2: Locate Trunk Position

+1, +2, +3, +4

Step 2a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +2

Step 3: Legs

+1, +2, +3, +4

Step 3a: Adjust...
30-60° Add +1
60-90° Add +2

Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A.

Step 5: Add Forces/Load Score

If load = 12 lbs = 0
If load = 15 to 22 lbs = +1
If load = 23 lbs = +2
Adjust: Kneel on rigid build-up of floor: add +1

Step 6: Score A, Find Row in Table C

Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.

Scoring:
1 = negligible risk
2 or 3 = low risk, change may be needed
4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
8 to 10 = high risk, investigate and implement change
11+ = very high risk, implement change

SCORES

Table A

Neck	Trunk		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5
4	4	5	6

Table B

Upper Arm	Lower Arm		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5
4	4	5	6

Table C

Score A	Score B, add to other multiplying column											
1-12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position

+1, +2, +3, +4

Step 7a: Adjust...
If shoulder is twisted: +1
If upper arm is abducted: +2
If arm is supported or pinned to leaning: +3

Step 8: Locate Lower Arm Position

+1, +2

Step 9: Locate Wrist Position

+1, +2

Step 9a: Adjust...
If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B.

Step 11: Add Coupling Score

Well fitting handle and good power grip: good = 0
Acceptable but not ideal hand hold or coupling: acceptable with another body part: fair = +1
Hand held not acceptable but possible: poor = +2
No handle, awkward, usually with any body part: unusable = +3

Step 12: Score B, Find Column in Table C

Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A to row from step 6 to obtain Table C Score.

Step 13: Activity Score

+1 = 1 or more body parts are held for longer than 5 minutes (static)
+2 = Repeated small range motions (more than 40 per minute)
+3 = Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

Final REBA Score

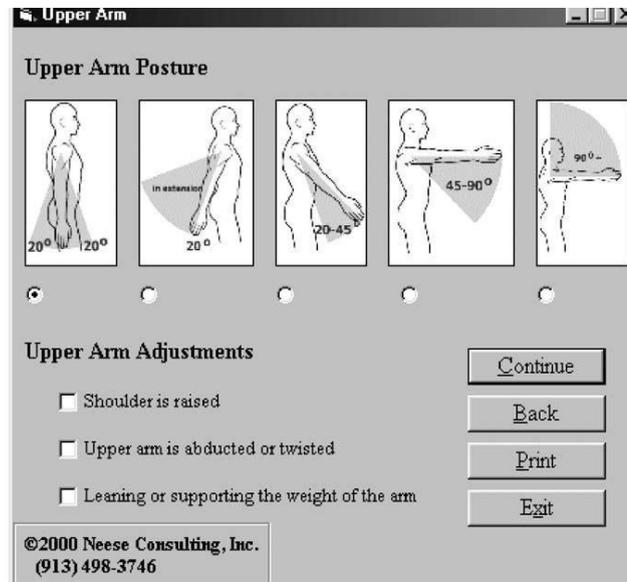
Table C Score + Activity Score = Final REBA Score

Task name: _____ Reviewer: _____ Date: _____

This tool is provided without warranty. The author has provided this tool as a simple means for applying the concepts provided in REBA. provided by Practical Ergonomics, harker@ergosmart.com (315) 444-1667

Fonte: Hignett e McAtamney (2000 apud Medeiros et.al, 2015)

Figura 17- Exemplo de uma das interfaces do software REBA utilizado para avaliação dos constrangimentos posturais na realização da atividade de esmerilhamento de trilho na fase II



Fonte: Diniz (2003, p.107)

Para uso da técnica consideraram-se as posições adotadas pelos membros superiores do corpo, avaliando braço, antebraço e punho, além de tronco, pescoço e pernas. A pontuação do tronco depende do ângulo de flexão do tronco medido pelo ângulo entre o eixo do tronco e a vertical; a pontuação do pescoço é obtida a partir da flexão/extensão medida pelo ângulo entre o eixo da cabeça e o eixo do tronco; a pontuação das pernas dependerá da distribuição de peso entre elas e os suportes existentes; a pontuação do braço é obtida a partir da sua flexão/extensão, medindo o ângulo entre o eixo do braço e o eixo do tronco; a pontuação do antebraço é obtida a partir do seu ângulo de flexão, medido como o ângulo entre o eixo do antebraço e o eixo do braço; a pontuação do punho é obtida a partir do ângulo de flexão/extensão medido a partir da posição neutra.

Os escores finais do REBA, para cada observação coletada, foram digitados em planilha no software Microsoft Office Excel®, onde foi calculada a média de cada momento (20 minutos no início, no meio e no fim das atividades) e a média final dos 3 momentos. As categorias de ação REBA estão apresentadas no Quadro 5. A Média, desvio padrão, mediana e intervalo interquartil (percentis 25 e 75) foram utilizados para a apresentação dos resultados. Os dados contínuos da ferramenta REBA foram testados para normalidade e não apresentaram distribuição normal (teste

Shapiro-Wilk $p < 0,05$). A comparação dos resultados das avaliações na realização da atividade com e sem exoesqueleto foi realizada por meio do teste de Wilcoxon. Foi utilizado o nível de significância estatística de 5% ($p < 0,05$). A análise dos dados foi realizada utilizando o IBM SPSS Statistics v.26 (Armonk, NY: IBM Corp). Foi utilizado o teste de Friedman para comparar as medidas dinamometria, que é uma alternativa não paramétrica à ANOVA de medidas repetidas. Os gráficos foram construídos utilizando o software Microsoft Excel®.

Quadro 5 - Categorias de ação REBA

Nível de ação	Escore REBA	Nível de risco	Ações (incluindo análises adicionais)
0	1	Nenhuma	Desnecessário
1	2 a 3	Baixo	Pode ser necessário
2	4 a 7	Médio	Necessário
3	8 a 10	Alto	É necessário em breve
4	11 a 15	Muito alto	Necessária agora

Fonte: Adaptado de Hignett e McAtamney (2000)

E) Dinamometria

Para avaliação da força muscular isométrica da coluna lombar foi utilizado o dinamômetro dorsal, modelo Oswaldo Filizola, marca Crown®, 200 KGF. O dinamômetro é um equipamento que permite a mensuração da força aplicada em um sistema baseado em células de carga (Bohannon, 1997).

A força muscular isométrica se caracteriza pela atividade muscular, na qual não ocorrem modificações perceptíveis no comprimento das fibras musculares ou no movimento articular visível (Amaral, 2010).

O procedimento é simples, objetivo, prático, de fácil utilização e baixo custo (Soares *et al.*, 2012; Oliveira e Moreira, 2009). Serve para estabelecer parâmetros confiáveis na mensuração da força muscular à medida que se torna difícil identificar pequenas variações na graduação desta durante o exame físico

(Moura, 2008). O dinamômetro é um instrumento muito utilizado para a avaliação da força muscular lombar em indivíduos com estado normal de saúde e/ou em processo de reabilitação (Guedes *et al.*, 2013).

No momento da avaliação, o sujeito estará sem calçado, posicionado sobre a plataforma contendo uma célula de carga acoplada; com a coluna ereta mantendo os braços estendidos em frente às coxas para fazer o posicionamento correto do puxador que foi tracionado (1 cm abaixo da extremidade do dedo médio); na sequência foi solicitado que o sujeito faça a flexão anterior de tronco, leve flexão de joelho, e segure o puxador com as mãos, foi solicitado que o mesmo faça a força máxima de tração no puxador, de forma perpendicular a plataforma, sem qualquer contato do puxador ou das mãos com qualquer outra parte do seu corpo.

A avaliação foi realizada com e sem o uso do exoesqueleto, antes e após a realização do esmerilhamento de trilho. Foram realizadas três medidas de 3 segundos cada com intervalo de 1 minuto entre cada uma delas para recuperação tecidual, baseado no estudo de Veronesi (2020). Os resultados encontrados foram digitados em planilha no software Microsoft Office Excel®. Para análise dos dados foi utilizado o teste de Friedman para comparar as medidas, que é uma alternativa não paramétrica à ANOVA de medidas repetidas.

Figura 18 - Dinamômetro dorsal, modelo Oswaldo Filizola, marca Crown®, 200 KGF para a mensuração da força muscular lombar nas atividades de esmerilhamento de trilho observadas na fase II



Fonte: Iteste (2022)

Figura 19 - Realização da dinamometria com e sem o exoesqueleto



Fonte: Autora (2024)

F) Correlação entre as variáveis do trabalho

Para verificar a correlação entre as variáveis do trabalho foi utilizado o coeficiente de Spearman (ρ), medida de associação linear que utiliza os intervalos, números de ordem, de cada grupo de sujeitos e compara esses intervalos (Santander & Ruiz, 2004).

3.3 Aspectos éticos

A realização da presente pesquisa obedeceu aos preceitos éticos da Resolução 466/12 ou 510/16 do Conselho Nacional de Saúde. Iniciou-se, após a aprovação no conselho de ética sob o número CAAE 74192523.3.0000.5208, apresentação da carta de anuência da empresa participante e dos objetivos e importância da pesquisa aos participantes sociedade e meio científico, realizada na fase de lançamento da pesquisa. Foi apresentado também o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE), termo de confidencialidade e sobre a liberdade de escolha, para permanecer ou se retirar em qualquer fase da pesquisa e sigilo das identidades dos participantes e assegurar que os dados os dados coletados serão utilizados, apenas para as finalidades científicas desta pesquisa. A pesquisa seguirá a Norma ERG BR 1002 - Código de Deontologia do Ergonomista Certificado Aprovada na Assembleia Geral Ordinária da ABERGO [4 de setembro de 2002 | Recife, Pernambuco] e revisada no 1º. Fórum de Certificação do Ergonomista Brasileiro [24 de outubro de 2003 | Ouro Preto, Minas Gerais]. Assim como a Autorização de uso de arquivos/dados de pesquisa cedida pela empresa e Termo de autorização de uso de

imagem.

- **Riscos:** a participação nesta pesquisa não traz complicações legais. Existe a possibilidade de desconforto na região da coluna vertebral nos primeiros dias de uso. Para minimizar o risco, os empregados voluntários serão orientados quanto ao uso do exoesqueleto e acompanhados durante todo o experimento. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedeceram aos preceitos éticos da Resolução 466/12 ou 510/16 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade. Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa tiveram plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores.
- **Benefícios:** diretos/indiretos para os voluntários: não terá nenhum benefício direto. Entretanto, espera-se que este estudo traga informações importantes sobre a atividade de esmerilhamento de trilho em uma indústria de mineração em São Luís-MA; Intervenção Ergonômica e o Uso do Exoesqueleto Passivo, de forma que o conhecimento que foi construído a partir desta pesquisa possa contribuir para a saúde, segurança e qualidade de vida dos trabalhadores de uma empresa de mineração na execução da atividade de esmerilhamento de trilho na Via Permanente em uma indústria de mineração, onde pesquisador se compromete a divulgar os resultados obtidos.
- **Armazenamento dos dados coletados:** todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente a pesquisadora e o orientador tem conhecimento dos dados e serão divulgados apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a participação. Os pesquisadores declaram que os dados coletados nesta pesquisa entrevistas, questionários, fotos e filmagens, ficarão armazenados em google drive no computador pessoal, sob a responsabilidade do [REDACTED] com endereço [REDACTED] [REDACTED] pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

3.4 Delineamento metodológico

A pesquisa foi realizada em três fases para analisar a atividade de esmerilhamento de trilho e os constrangimentos ergonômicos associados. Na fase zero, houve o lançamento da pesquisa. Na primeira fase (apreciação ergonômica), usaram-se entrevistas e questionários para validar a percepção dos trabalhadores sobre questões relacionadas ao trabalho, além de técnicas de observação sistemáticas para descrever e interpretar a postura ocupacional. Na segunda fase (diagnose ergonômica), adotou-se uma abordagem quali-quantitativa para verificar hipóteses, utilizando técnicas como Diagrama de Segmentos Corporais- Corlett, REBA e Dinamometria.

O delineamento da presente pesquisa, tendo-se o método AMT como norteador e as técnicas e ferramentas aplicadas em cada fase, é estruturado no quadro 6.

Quadro 6 - Delineamento dos métodos e técnicas utilizados na presente pesquisa

Método	Fases	Técnica	Natureza	Abordagem	Procedimentos Técnicos e ferramentas
Análise Macroergonômica do Trabalho (AMT)	Sensibilização	Apresentação de conteúdo e Diálogo	Descritiva	Qualitativa	Reunião
	Apreciação ergonômica	Entrevista aberta; observações assistemáticas; questionário de validação	Descritiva	Qualitativa	Caderneta de campo, registro em fotos e vídeos, questionário impresso.
	Diagnose ergonômica	Diagrama de Segmentos Corporais (Corlett, 1995)	Descritiva	Qualitativa	Questionário impresso com mapas das regiões corporais com variação de local e intensidade do desconforto/dor.
		REBA	Descritiva	Qualiquantitativa	Registros em vídeo de posturas; software REBA, versão 1.3.
		DINAMOMETRIA (KGF)	Descritiva	Quantitativo	Dinamômetro dorsal, modelo Oswaldo Filizola, marca Crown®, 200 KGF.

Fonte: Autora (2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Apreciação Ergonômica

A) Reunião para lançamento da pesquisa

O lançamento da pesquisa ocorreu inicialmente por meio de reuniões com os gestores, que demonstraram grande interesse na iniciativa. Em seguida, a pesquisa foi apresentada aos oficiais de via permanente, seguindo o princípio da ergonomia participativa.

Corroborando com Hasani et al. (2022), a Ergonomia Participativa, envolve ativamente os trabalhadores na implementação de conhecimentos e procedimentos do ponto de vista ergonômico para melhorar as condições de trabalho, segurança, produtividade e saúde.

Na ocasião também participaram a ergonomista que atende o setor, estagiária de ergonomia e membros da equipe de elétrica que também acompanham o diálogo de saúde e segurança, momento em que foi realizada a reunião. Além de apresentar as fases da pesquisa, também se explanou sobre o objetivo, cronograma, carta de anuência da empresa, (TCLE) para sanar quaisquer dúvidas, sensibilizando assim todos os participantes. Os mesmos concordaram voluntariamente em contribuir com a coleta de dados da pesquisa (realização de entrevistas, questionários, teste do uso do exoesqueleto para aplicação das técnicas) assinando o termo de consentimento que lhes fora apresentado. Desta forma, o conhecimento gerado no estudo foi fruto da interação entre o conhecimento tácito dos usuários do sistema e o conhecimento formal, em ergonomia, dos pesquisadores envolvidos. Conforme Fisher e Guimarães (2001), a Ergonomia Participativa assegura um maior engajamento dos participantes através do sentimento de responsabilidade, o que pôde ser percebido nesta pesquisa através do conhecimento e sentimento de pertencimento todos os gestores e trabalhadores envolvidos contribuíram fortemente para que o estudo acontecesse.

Figura 20- Reunião para lançamento da pesquisa (fase 0)



Fonte: A autora (2024)

B) Entrevistas Abertas

As entrevistas foram efetuadas em grupo, com os trabalhadores das duas turmas do turno diurno, por um entrevistador (pesquisadora) e tiveram duração de 10 a 20 minutos. Foram explicitados itens relativos ao ambiente, biomecânico ou de posto de trabalho, organização do trabalho e empresa. Foram entrevistados 19 funcionários (100%) do total da população de 19 funcionários. A tabulação das respostas de todos os respondentes permitiu o estabelecimento de um ranking de importância quanto à demanda ergonômica dos usuários (oficiais de via permanente). O resultado dos questionários indicou as prioridades dos IDEs a serem consideradas na pesquisa. Sendo que os constrangimentos abordados – IDEs durante as entrevistas, em geral foram:

- Ambiente: “exposição ao sol”.
- Biomecânico ou de posto de trabalho: “desconforto na região da coluna lombar”, “quanto mais tempo na atividade maior é o desconforto”, “dor nos braços e joelhos”, “movimentos repetitivos”, “postura não adequada”, “esmerilhar a lateral do trilho é mais difícil”, “atividade pesada”, “posicionamento do trilho no chão”.
- Organização: “atividade rotineira”, “existe revezamento das atividades”, “atividade realizada em grupo”
- Empresa: “utiliza o check list pessoal para pontos de atenção”, “há disponibilidade de hidratação”.

Na tabela 3, pode-se observar o resultado das entrevistas abertas:

Tabela 3 - Resultados das entrevistas abertas

IDEs	Total
Atividade pesada	1,0
Atividade realizada em grupo	0,50
Existe revezamento das atividades	0,33
O uso do exoesqueleto pode ajudar na atividade	0,25
Temos poucos exoesqueletos na equipe	0,20
Postura não adequada	0,17
Altura dos equipamentos	0,14
Esmerilhar a lateral do trilho é mais difícil	0,09
Posicionamento do trilho no chão	0,55
Exposição ao sol	0,52
Necessidade de pausas além do revezamento	0,50
Há disponibilidade de hidratação	0,21
No fim do dia há cansaço e desconforto na região da coluna lombar	0,47
Quanto mais tempo na atividade maior é o desconforto	0,43
Terreno desnivelado	0,41
Dor nos braços e joelho	0,4
Atividade rotineira	1,0
Atividade demanda esforço físico intenso	0,5
Atividade demanda esforço na lombar	0,33
Movimentos repetitivos	0,25
Não tem dispositivo para aliviar a tensão muscular	0,20
Utiliza o check-list pessoal para pontos de atenção	0,17

Fonte: Autora (2024)

A frequência e a ordem dos itens mencionados pelos entrevistados serviram de base para o questionário fechado aplicado aos oficiais de via permanente.

Foram observadas posturas inadequadas na execução das tarefas durante a jornada de trabalho. Essas posturas foram percebidas principalmente no momento do esmerilhamento do trilho com lixadeira e no acabamento com uso de retífica, momento em que os trabalhadores adotam a postura de flexão de coluna vertebral

por maior tempo. Percebe-se também pelas figuras 21 e 22 que o equipamento é utilizado ao nível do trilho. Como a atividade é realizada em áreas descobertas, os trabalhadores estão expostos a intempéries e a exposição solar é frequente tendo em vista, que a atividade não pode ser realizada em períodos chuvosos. Pode-se observar também pelas figuras que o piso é desnivelado (Figura 23).

Figura 21- Exemplos de posturas inadequadas na atividade de esmerilhamento do trilho com lixadeira



Fonte: A autora (2024)

Figura 22- Exemplos de posturas inadequadas na atividade de acabamento com uso de retífica



Fonte: A autora (2024)

Figura 23- Execução da atividade em área descoberta e em piso desnivelado



Fonte: A autora (2024)

C) Questionário de validação e observação assistemática

Com base nos dados da entrevista foi elaborado um questionário (Apêndice E) com 40 questões relativas aos itens mencionados nas entrevistas. O nível de impacto com relação a cada questão foi aferido por meio de uma escala de avaliação contínua, sugerida por Stone *et al.* (1974). De acordo com a metodologia do Design Macroergonômico (Fogliatto & Guimarães, 1999), utilizada nesta pesquisa, há a recomendação do uso desta escala com duas âncoras nas extremidades. Esta escala tem 15 cm e ao longo dela o sujeito deverá marcar a sua percepção sobre o item. A intensidade de cada resposta poderá variar entre 0 e 15.

O questionário, o qual não requereu o nome dos respondentes, foi aplicado aos funcionários das duas turmas no setor de Manutenção de Via Permanente.

Os dados dos questionários foram tabulados e priorizados em função do nível de maior impacto. Diferentemente da ponderação das entrevistas (que valoriza a soma dos pesos atribuídos a cada item pelos usuários) nos questionários o peso do item é gerado por sua média aritmética. Para se verificar se as questões do questionário mediam situações similares, conforme a estrutura montada para o entendimento dos respondentes, ou seja, para medir a compreensão da escala, usou-se o Alfa de Cronbach. O cálculo do alfa de Cronbach permitiu identificar se as questões realmente pertencem ao mesmo grupo e se a utilização da escala foi

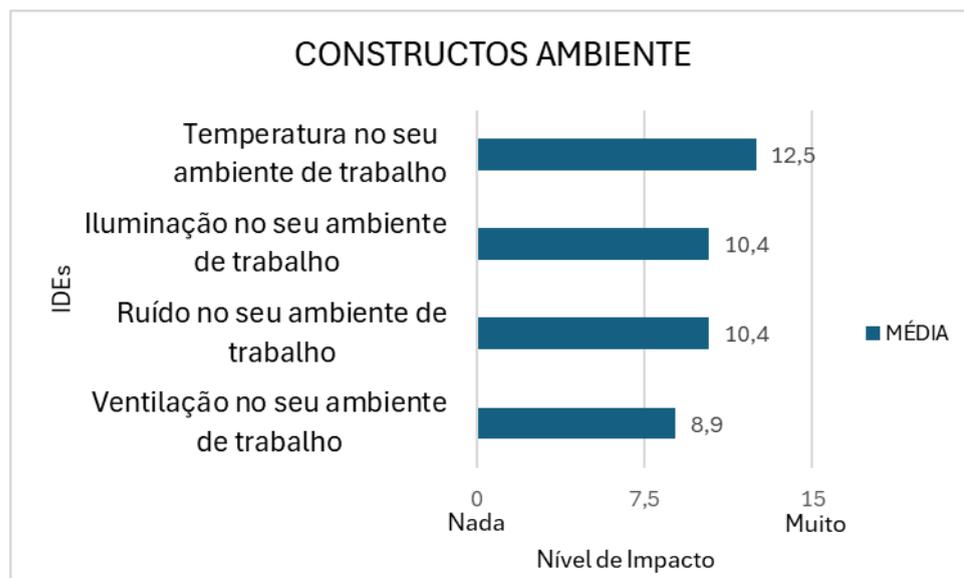
compreendida. Quando os resultados do alfa de Cronbach for maior ou igual a 0,55 indicam uma boa consistência interna. Os resultados do Alfa de Cronbach para o questionário se mostraram satisfatórios. O alfa final foi de 0,81, maior do que 0,55, indicando boa consistência interna do questionário.

A seguir tem-se o resultado dos principais aspectos (Itens de demanda ergonômica) anotados pelos respondentes quando da aplicação dos questionários fechados, que foram aplicados com os oficiais de via permanente nas duas turmas no turno diurno.

Nas figuras de 24 a 29 são apresentados os resultados relacionados ao nível de impacto de acordo com os constructos, os quais se referem às perguntas do questionário de validação.

No que se refere ao constructo ambiente, apresentou níveis de impacto mais altos no geral, destacando-se o IDE, “temperatura no seu ambiente de trabalho” (em média 12,5 – ambiente) (Figura 24), o que corrobora com o local onde é realizada a atividade, onde os trabalhadores não possuem proteção da exposição a intempéries.

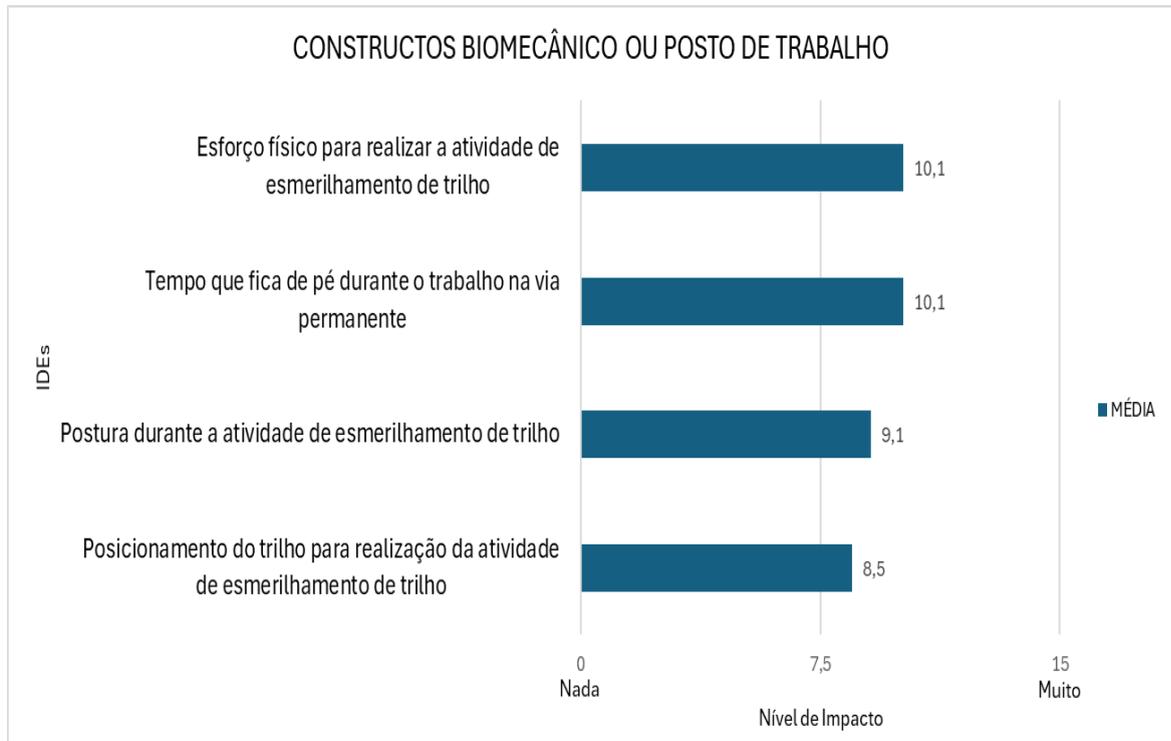
Figura 24- Nível de impacto dos constructos ambiente



Fonte: Autora (2024)

No constructo biomecânico ou posto de trabalho (figura 25), percebe-se que os trabalhadores não estão satisfeitos com o esforço físico e a postura ocupacional adotada durante a realização de suas atividades, fato evidenciado durante as observações assistemáticas.

Figura 25- Nível de impacto dos constructos biomecânico ou posto de trabalho



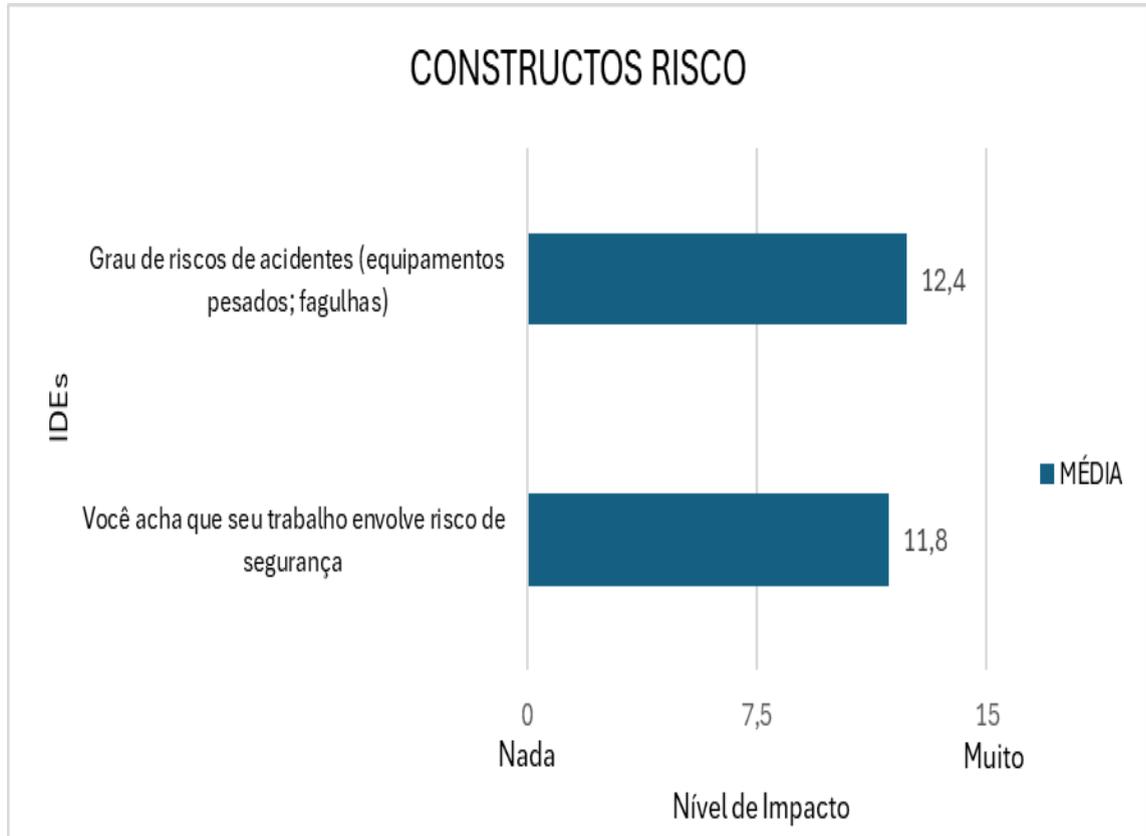
Fonte: Autora (2024)

No constructo organizacional, os IDEs “o seu trabalho envolve responsabilidade” e “o seu trabalho faz você se sentir valorizado” apresentaram os níveis mais altos de impacto (em média 13,5 e 12,1, respectivamente), enquanto que os IDEs “Você sente pressão psicológica por parte da chefia” e “seu trabalho é monótono” apresentaram os níveis mais baixos de impacto (em média 2,3 e 4,5, respectivamente) (Figura 26).

Figura 26 - Nível de impacto do constructo organizacional

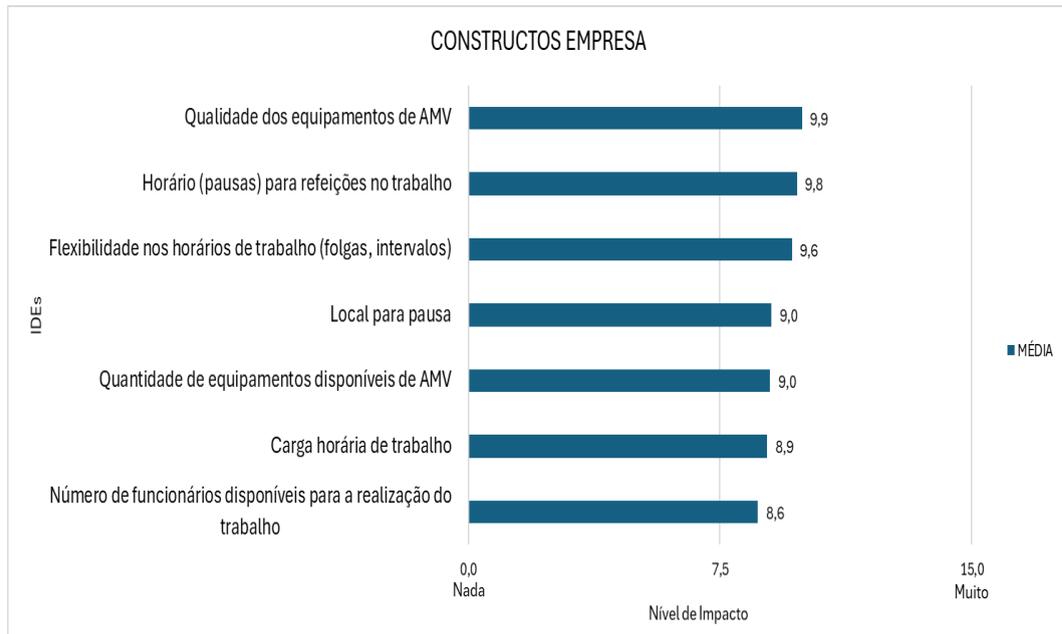
Fonte: Autora (2024)

Para o constructo risco, destaca-se o IDE “você acha que seu trabalho envolve risco de segurança” (em média 12,4 – risco) (Figura 27), tendo em vista que as atividades acontecem ao longo da via permanente ferroviária, na qual há possibilidade de acesso de pessoas externas à empresa.

Figura 27- Nível de impacto do constructo risco

Fonte: Autora (2024)

Em relação ao constructo empresa os escores médios dos IDEs variaram de 8,6 a 9,9 (Figuras 28), sendo que a qualidade dos equipamentos de AMV e o horário (pausas) para refeições no trabalho foram os IDEs com maior nível de impacto. Devido ao uso diário dos equipamentos, os mesmos precisam de troca de componentes com frequência e quanto ao horário das refeições, devido a necessidade de realizar as atividades em campo também no período da tarde, por vezes o horário do almoço fica comprometido.

Figura 28- Nível de impacto constructos empresa

Fonte: Autora (2024)

Para o constructo de desconforto/ dor, todos os IDEs médios ficaram abaixo de 7,5 pontos no escore de impacto. Percebe-se que, ao final do horário de trabalho, os trabalhadores se sentem cansados, e que os escores mais altos foram para desconforto/dor nas costas (em média 6) e desconforto/dor nos braços (em média 6,7) (figura 26).

Os resultados do constructo desconforto/dor estão de acordo com as observações assistemáticas que apontaram posturas prejudiciais resultante principalmente da área de trabalho estar na altura do piso, o que dificulta o alcance motor e visual, desta forma, obrigando o trabalhador a adotar postura prejudicial na maioria do tempo a flexão de coluna vertebral. Dessa forma, essas regiões corporais onde os oficiais de via permanente percebem desconforto/dor são as que sustentam a postura durante toda a atividade de esmerilhamento de trilho (costas e braços) e, portanto, realizam trabalhos estático por mais tempo. Por outro lado, a cabeça, pescoço e pés que efetuam trabalho dinâmico estão menos sujeitos ao desconforto/dor, corroborando com os dados da literatura (Diniz, 2003; Serranheira, 2003; Pauluk, 2016).

Tabela 4 - Matriz GUT para a priorização dos processos

Problema	G	U	T	Produto GUT	Criticidade	Recomendações Preliminares
Risco de acidentes	4	2	2	16	MÉDIA	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitação para o levantamento e transporte manual de cargas - Orientações sobre uso adequado dos equipamentos de proteção individual.
Risco de segurança	4	2	2	16	MÉDIA	<ul style="list-style-type: none"> - Definir rota de acompanhamento da equipe de segurança conforme programação das atividade.
Temperatura	4	4	5	80	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Estudar a viabilidade de implantação de fardamento que proporcionem maior conforto térmico.
Posicionamento do trilho	4	4	5	80	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Estudar viabilidade de uso de dispositivo que mantenha a lixadeira mais próxima das mãos do trabalhador.

Cansaço no final do dia	4	4	5	80	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer plano de revezamento das atividades; - Estabelecer micropausas para recuperação das articulações mais exigidas; - Realizar movimentos compensatórios em intervalos dos ciclos.
Postura durante a atividade	4	4	5	80	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Conscientizar colaboradores quanto ao procedimento adequado para a realização da tarefa; - Realizar treinamento de orientações posturais.
Desconforto nas costas	4	4	5	80	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer plano de revezamento das atividades; - Estabelecer micropausas para recuperação das articulações mais exigidas; - Realizar movimentos compensatórios em intervalos dos ciclos; -Conscientizar colaboradores a não permanecerem longo tempo de flexão de coluna lombar durante o ciclo da tarefa;

							- Avaliar a implementação de dispositivos que reduzam a sobrecarga muscular na região lombar.
Desconforto nos braços	4	4	5	80	ALTA		- Estabelecer plano de revezamento das atividades; -Estabelecer micropausas para recuperação das articulações mais exigidas; - Realizar movimentos compensatórios em intervalos dos ciclos.
Qualidade dos equipamentos de AMV	2	3	3	18	MÉDIA		- Manutenção preventiva dos equipamentos de AMV; -Verificar no mercado equipamentos com tecnologia mais avançada.
Horário (pausas) para refeições no trabalho	2	3	3	18	MÉDIA		- Realizar programação das atividades conforme carga horária.
Flexibilidade nos horários de trabalho (folgas, intervalos)	2	3	3	18	MÉDIA		- Realizar programação das atividades priorizando as atividades com impacto na produtividade.

Fonte: Elaborada pela autora (2024)

E) Retorno dos dados

A AMT propõe que, imediatamente após a conclusão da análise de dados da apreciação, volte-se à empresa para retorno das informações obtidas e discussão dos IDEs com os participantes. Corroborando com Guimarães (1999), no dia 30 de abril de 2024 foi realizada uma reunião às 7h30 da manhã, na qual a partir da apresentação dos dados encontrados, permitiu melhor entendimento da situação e, portanto, viabilizou um diagnóstico mais confiável.

A apreciação é a etapa mais decisiva do estudo ergonômico, pois define as diretrizes do projeto com base no levantamento inicial. Um levantamento sólido da demanda permite projetar soluções adaptadas aos usuários. Após a discussão dos dados da apreciação, priorizam-se os aspectos a serem analisados e define-se o cronograma de intervenção. Em seguida, na fase de diagnóstico, as questões priorizadas são analisadas em detalhe.

4.2 Diagnose Ergonômica

4.2.1 *Análise da tarefa e descrição cinesiológica das posturas*

As atividades da tarefa dos oficiais de via permanente, conforme o fluxograma e as observações assistemáticas, são:

Após a liberação da faixa pelo Centro de Controle Operacional (CCO) e de Pátio (CCP) é realizado o bloqueio mecânico das partes móveis do aparelho de mudança de via (AMV). Após o bloqueio das partes móveis do aparelho de mudança de via (AMV), inicia-se a descarga do material para realização da atividade e montagem do local de apoio. Com as ferramentas disponíveis faz-se a montagem do disco da lixadeira. Com a lixadeira preparada para execução do esmerilhamento ocorre o início das atividades de esmerilhamento na região do aparelho de mudança de via (AMV) com lixadeira.

Ao finalizar o esmerilhamento, ocorre a execução do acabamento do esmerilhamento com retífica. Para demarcação do local onde foi realizado o esmerilhamento é realizada a pintura com spray de tinta branco. Após a finalização da pintura, ocorre a preparação para liberação da linha, quando há a retirada das ferramentas e das placas de sinalização do trecho. Após a retirada de todo material e

sinalização da via é realizada a devolução do Tempo/Liberação de Linha (LDL) para o Centro de Controle Operacional (CCO) e de Pátio (CCP) e ocorre o deslocamento para sede. Os trabalhadores adotam a posição de pé ora estática, ora em deslocamento, para permanência na postura de pé, os mesmos adotam extensão de tronco, postura neutra de membros superiores e extensão de membros inferiores, por vezes flexionam ou estendem o pescoço. Para deambulação adotam flexão e extensão de membros inferiores, postura neutra de membros superiores e por vezes flexionam ou estendem o pescoço.

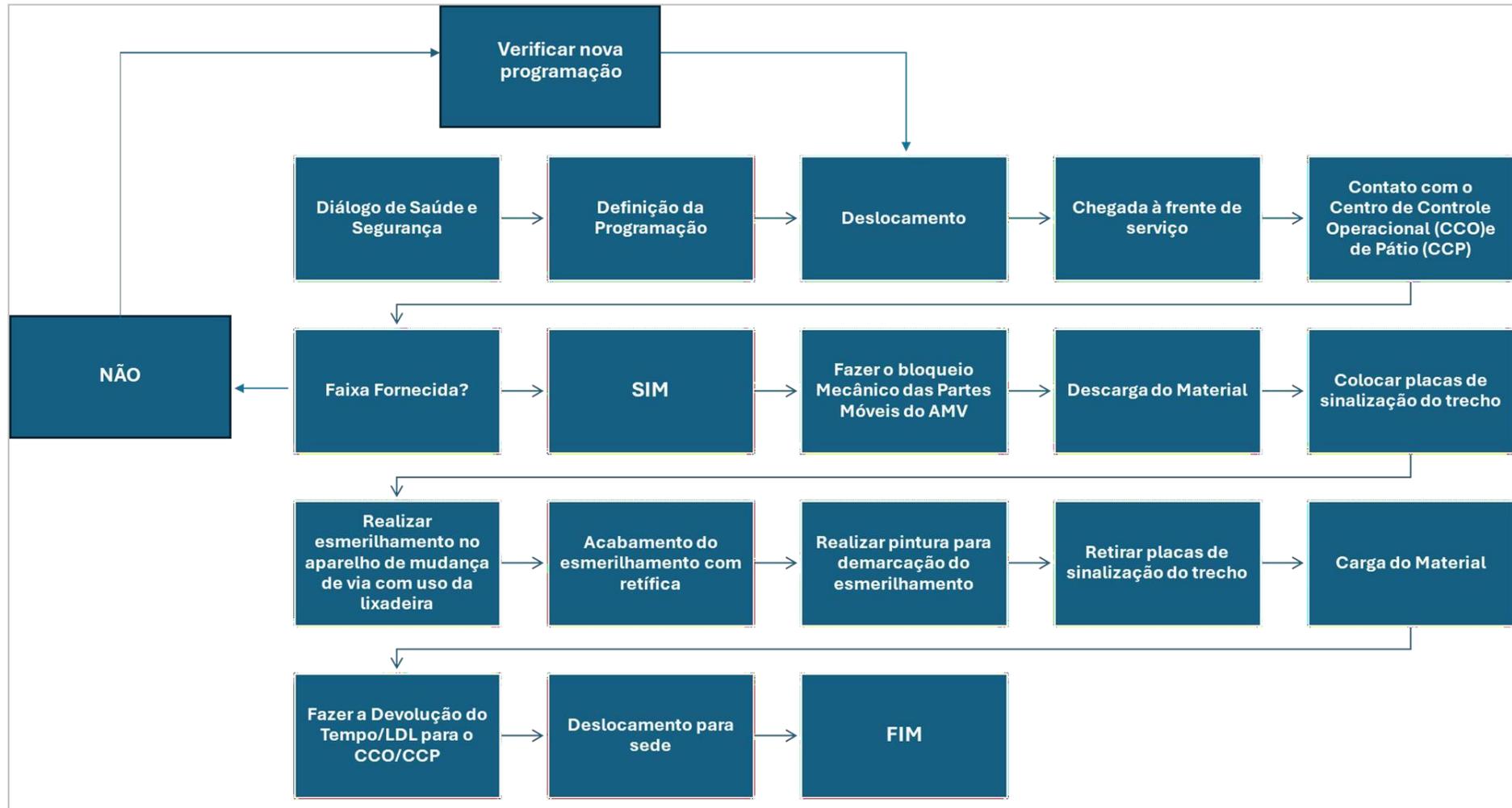
Para o manuseio dos materiais utilizam as duas mãos, estendem os membros superiores e tronco e para colocação dos materiais no piso realizam flexão de membros inferiores e extensão de membros superiores, por vezes inclinam anteriormente o tronco. No momento de colocação das placas de sinalização, os trabalhadores realizam o deslocamento a pé, manuseando as placas de sinalização e as inserem no solo, realizando uso de força, pressão e preensão palmar. Para realizar o esmerilhamento do trilho, o trabalhador adota postura de extensão e flexão de membros inferiores, extensão de membros superiores com flexão e extensão de cotovelos e leve flexão de punhos, preensão palmar para segurar e manusear a lixadeira, inclinação do pescoço e tronco, o mesmo realiza movimentos de inclinação lateral dos quadris e membros inferiores para acompanhar o movimentos dos membros inferiores desencadeado pela execução do esmerilhamento com o uso da lixadeira que pesa 3,5kg.

Para realizar o acabamento do esmerilhamento com retífica, o trabalhador adota postura de extensão e flexão de membros inferiores, extensão de membros superiores com flexão e extensão de cotovelos e leve flexão de punhos, preensão palmar para segurar e manusear a retífica, inclinação do pescoço e tronco, o mesmo realiza movimentos de inclinação lateral dos quadris e membros inferiores para acompanhar o movimentos dos membros inferiores desencadeado pela execução do acabamento do esmerilhamento com o uso da retífica que pesa 2kg. Já para a pintura, o trabalhador adota postura agachada para que possa ter melhor alcance motor para aplicação do spray de tinta, o mesmo também adota inclinação de tronco, extensão dos membros superiores, leve flexão de punho, preensão palmar para segurar o spray e flexão dos quírodáctilos, polegar e indicador para apertar o spray.

Para facilitar o entendimento sobre as condições e como são realizadas as atividades dos oficiais de via permanente demonstra-se graficamente atividades

realizadas pelos oficiais de via permanente através de um fluxograma na figura 30 (Moraes; Mont'alvão, 2003).

Figura 30 - Fluxograma das atividades dos oficiais de via permanente



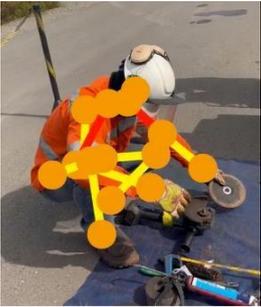
Fonte: Autora (2024)

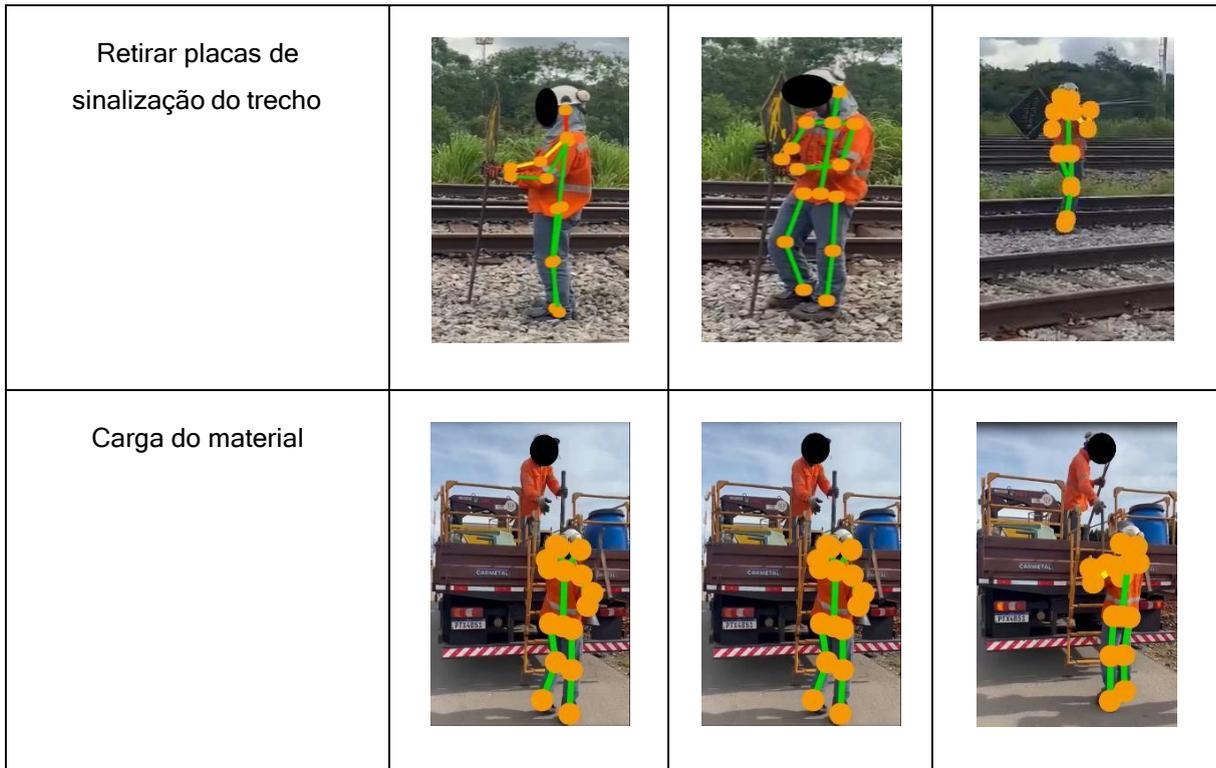
Para colaborar na análise da tarefa e na descrição postural e cinesiológica de cada postura adotada durante a execução das tarefas, utilizou-se o sistema Kinebot, solução de avaliação cinesiológica aplicada a ergonomia que trabalha especialmente com avaliação de cada movimento humano (Kinebot, 2023), com o objetivo de identificar em que momento ocorrem posturas mais inadequadas em termos de movimentos realizados (cinesiologia), considerando os princípios da biomecânica.

O quadro 7 ilustra as figuras das posturas assumidas e os ângulos que apresentam maior oportunidade de desconforto/dor que estão destacados nas cores vermelha e lilás. Pode-se observar que nas atividades de esmerilhamento de aparelho de mudança de via (AMV) e acabamento do esmerilhamento com retífica esses pontos foram mais evidentes, o que levou à aplicação do REBA no momento do esmerilhamento de aparelho de mudança de via (AMV) com uso de lixadeira, por ser a atividade de com maior esforço na coluna vertebral.

Quadro 7 - Quadro postural

Atividade	Posturas Adotadas		
Descarga de material			
Colocar placas de sinalização do trecho			

Montagem da lixadeira			
Esmerilhamento de aparelho de mudança de via (AMV)			
Acabamento do esmerilhamento com retífica			
Pintura para demarcação do esmerilhamento			



Fonte: Autora com adaptação do Kinebot (2024)

4.2.2 Diagrama de Segmentos Corporais- Corlett - Análise de desconforto/dor antes, após a atividade sem e com o exoesqueleto

O Diagrama de Segmentos Corporais- Corlett (Corlett, 1993) foi utilizado para quantificar as regiões do corpo mais afetadas durante a atividade e determinar o nível de desconforto dos trabalhadores antes, após a atividade sem e com o exoesqueleto.

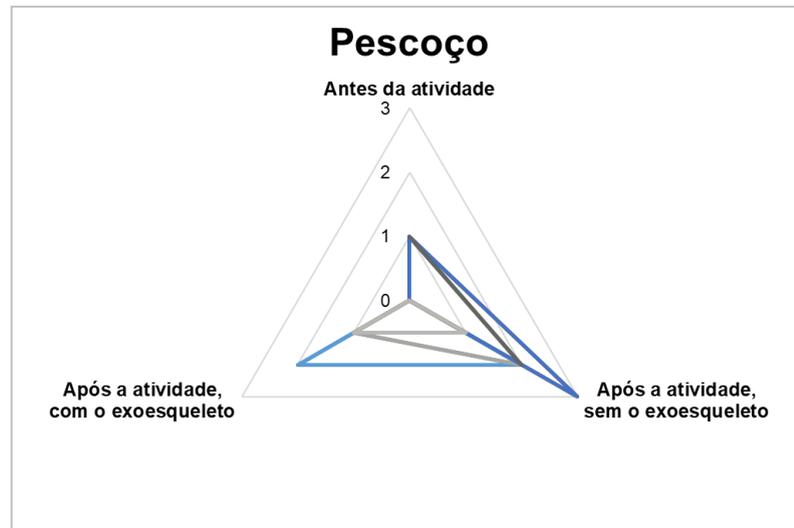
Conforme Bruning et al., (2020), o Diagrama de Segmentos Corporais- Corlett é um dos instrumentos utilizados para analisar os sintomas musculoesqueléticos em um contexto de saúde voltado para ergonomia, permitindo a identificação de sintomas por meio do trabalhador, assim como a necessidade de procurar recursos de saúde e a interferência na realização das atividades.

As figuras a seguir apresentam os resultados da análise de desconforto/dor antes e após a atividade, sem e com o exoesqueleto, para o tronco (Figuras 31 a 35).

Os principais fatores presentes nas atividades dos trabalhadores estudados e que desencadeiam desconforto/dor estão ligados às posturas inadequadas, à

repetitividade e às condições do ambiente, o que corrobora com o estudo de Paz (2021).

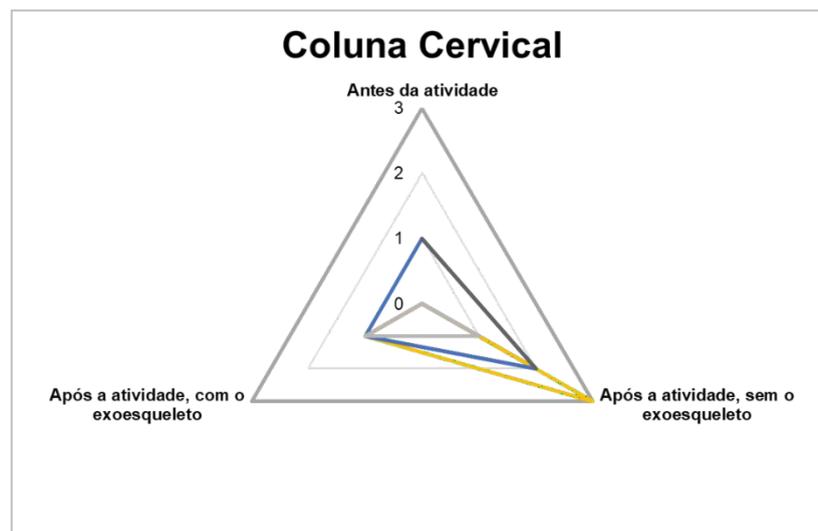
Figura 31 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o pescoço



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

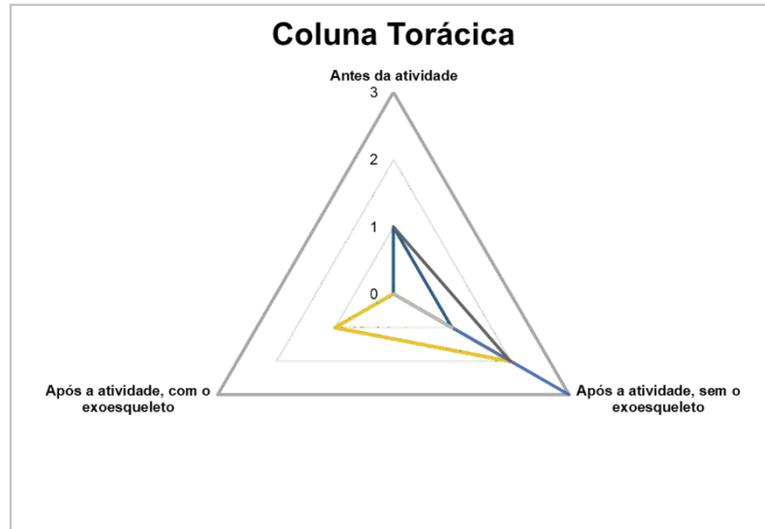
Figura 32 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a coluna cervical



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

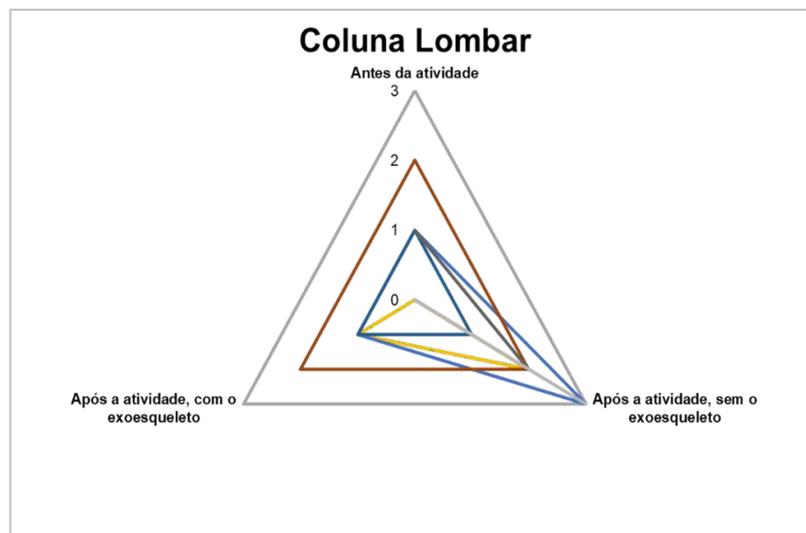
Figura 33 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a coluna torácica



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

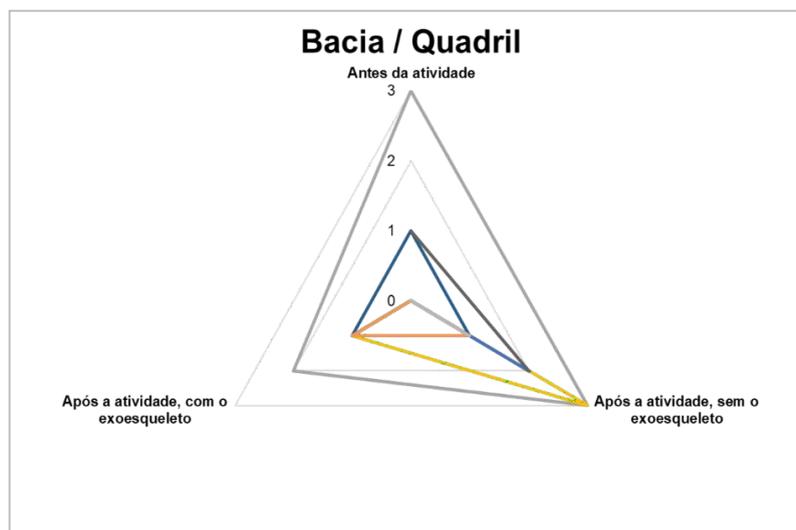
Figura 34 - Resultados da análise de desconforto/ dor para coluna lombar



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

Figura 35 - Resultados da análise de desconforto/ dor para bacia/quadril



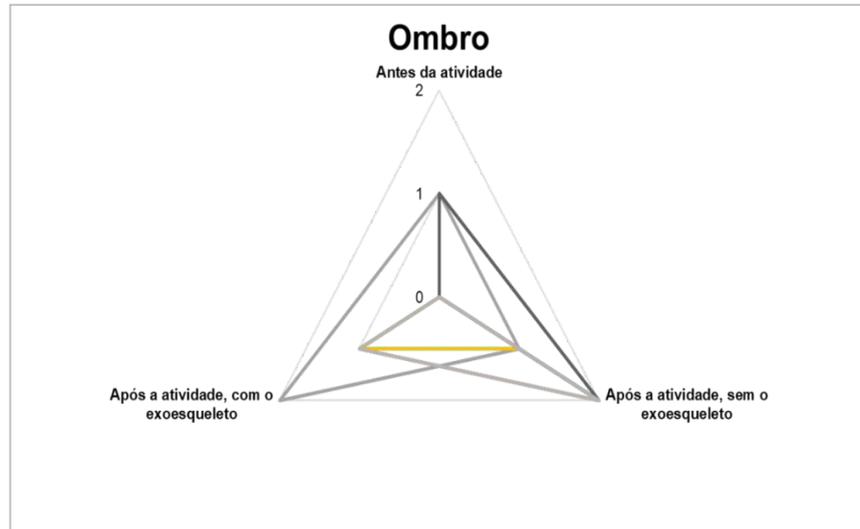
Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

Observa-se uma tendência de linhas mais frequentes inclinadas para a avaliação após a atividade sem o exoesqueleto, ou seja, mais participantes relataram dor e desconforto moderado ou bastante (pontuações 2 e 3) no tronco nesta avaliação. Para alguns participantes, o nível de desconforto/ dor na coluna lombar foi similar em todos os momentos de avaliação, corroborando com Possebom (2017), que afirma que o desenvolvimento de atividades em locais fora da zona de conforto muscular faz com que o trabalhador apresente desconforto.

Os resultados da análise de desconforto/ dor para o lado direito (Figuras 36 a 43) e para o lado esquerdo (Figura 44 a 51) foram bem similares.

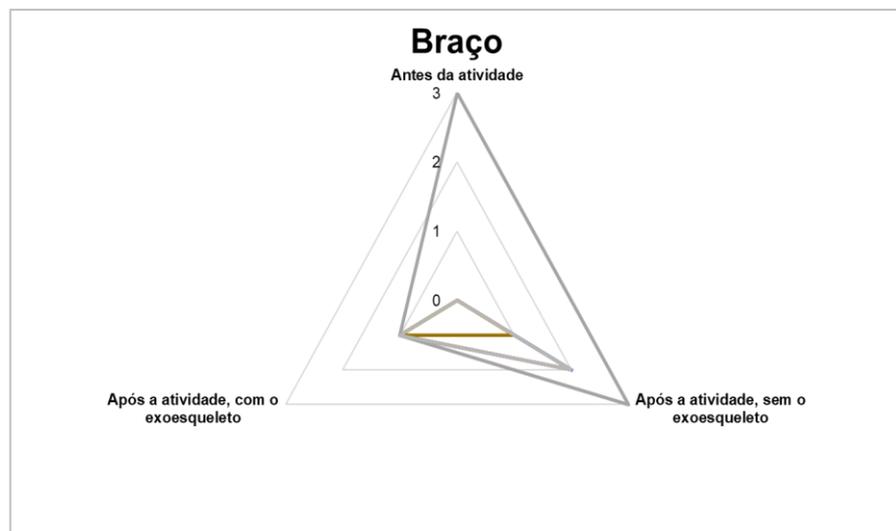
Figura 36 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o ombro lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

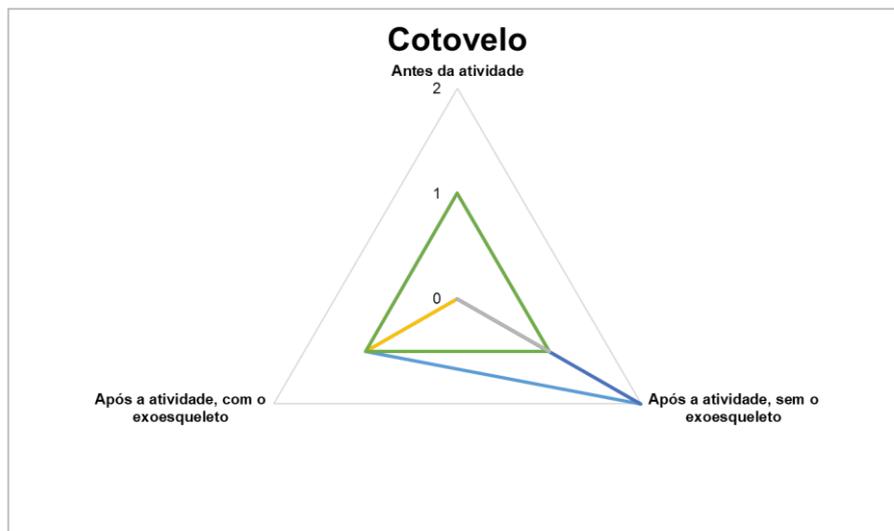
Figura 37 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o braço lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

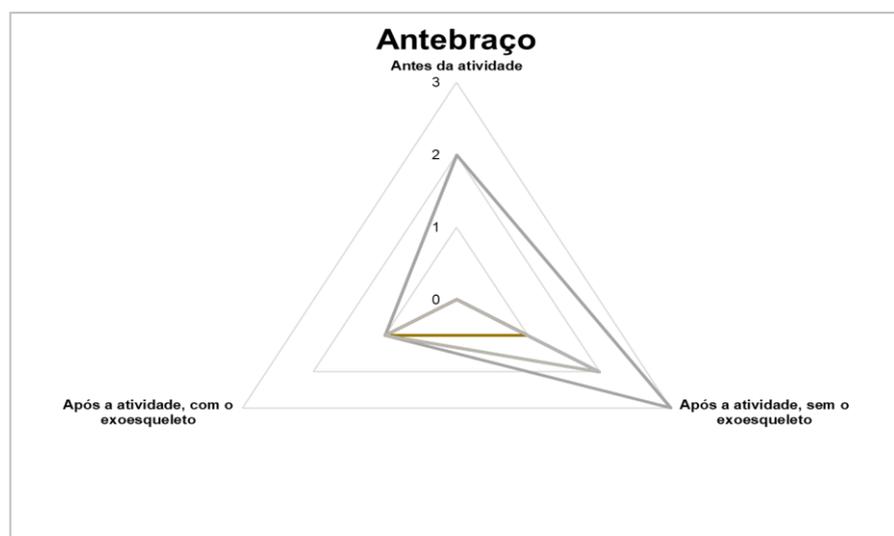
Figura 38 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o cotovelo lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

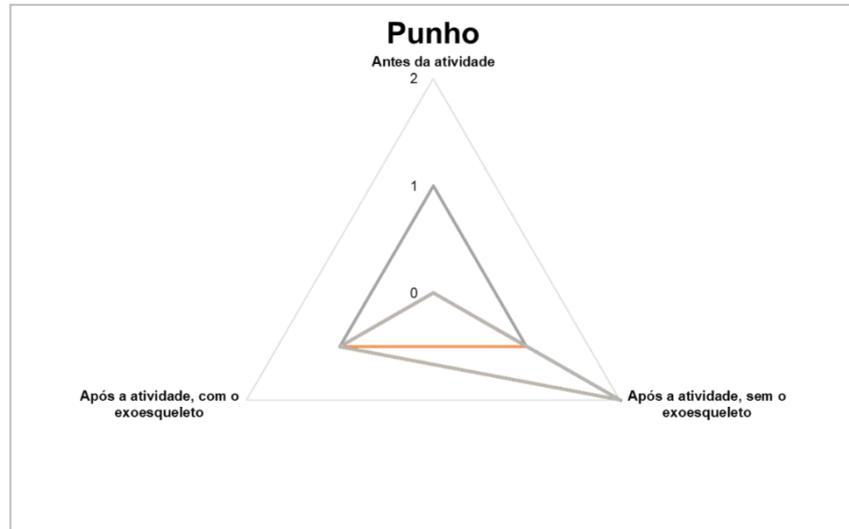
Figura 39 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o antebraço lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

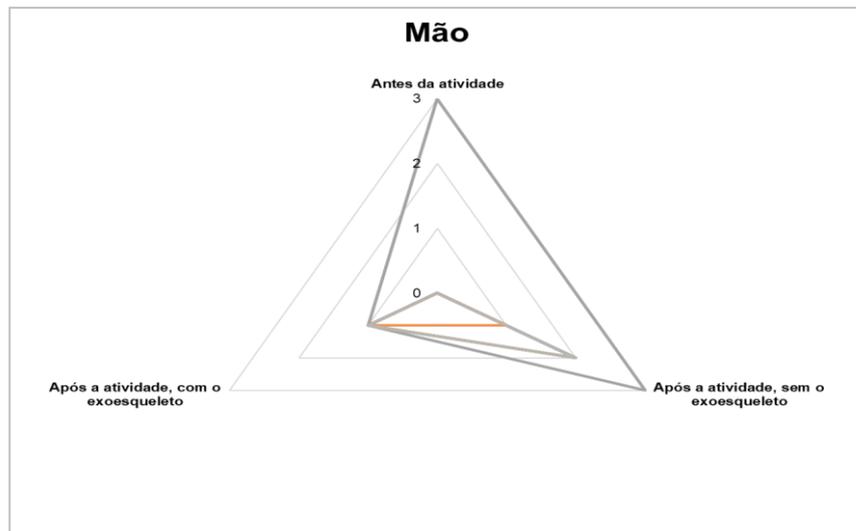
Figura 40 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o punho lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

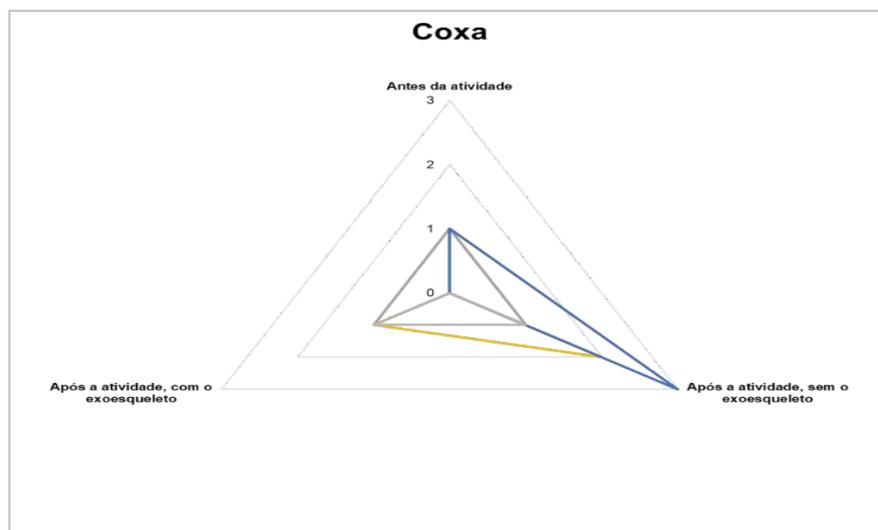
Figura 41 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a mão lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

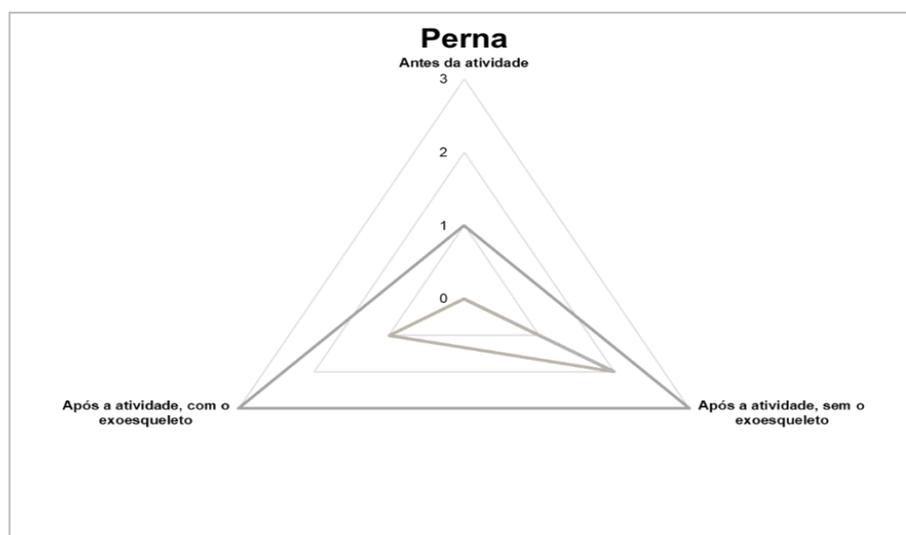
Figura 42 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a coxa lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

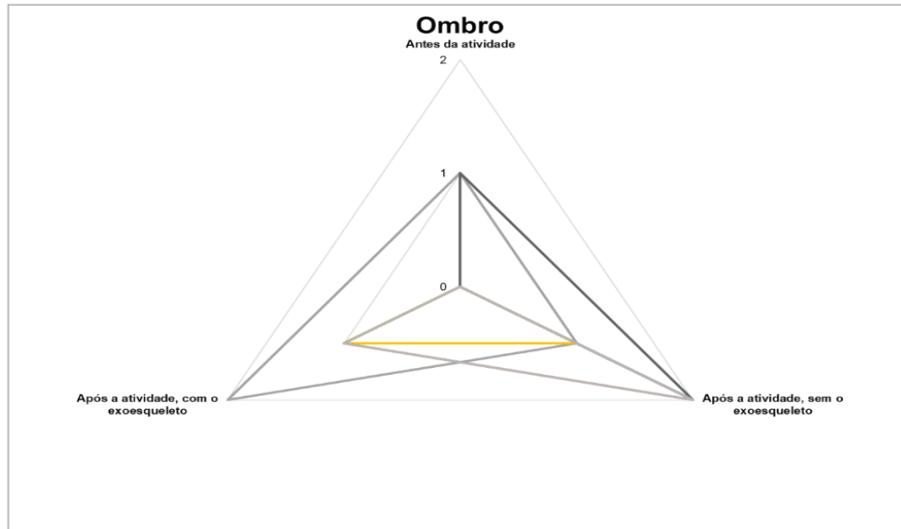
Figura 43 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a perna lado direito



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

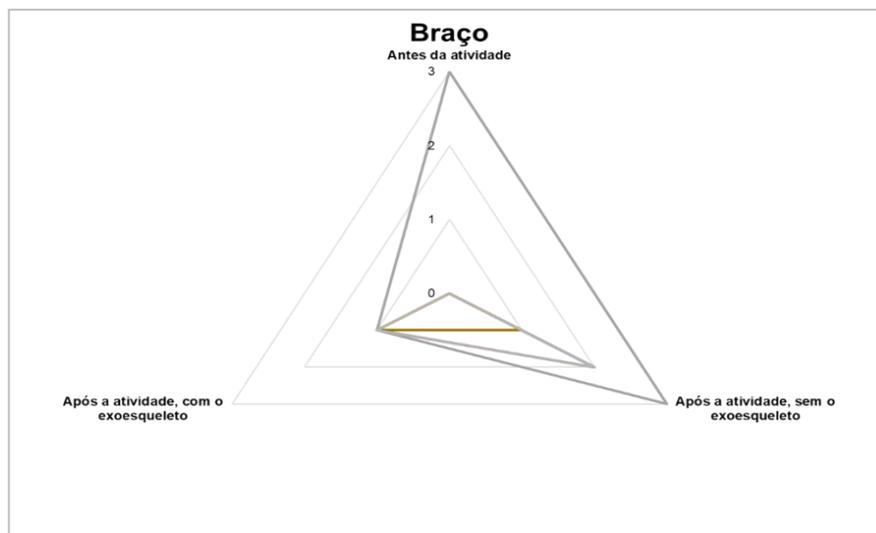
Figura 44 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o ombro lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

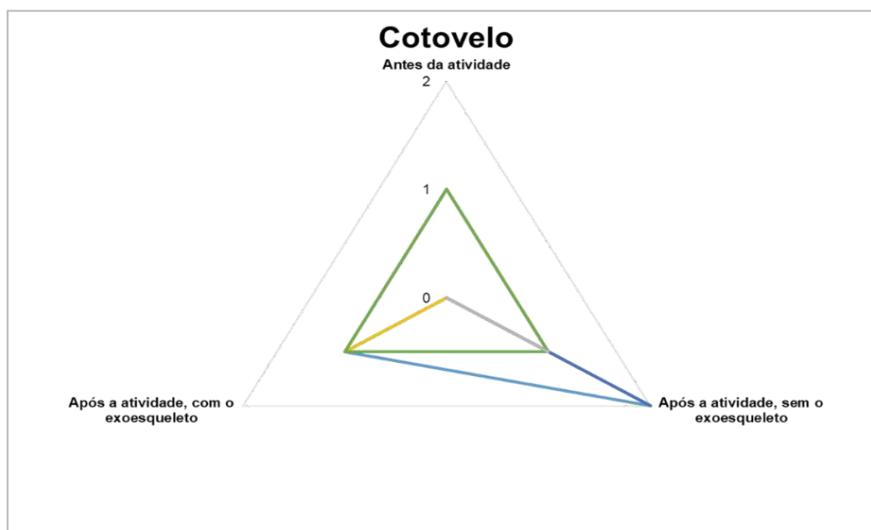
Figura 45 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o braço lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

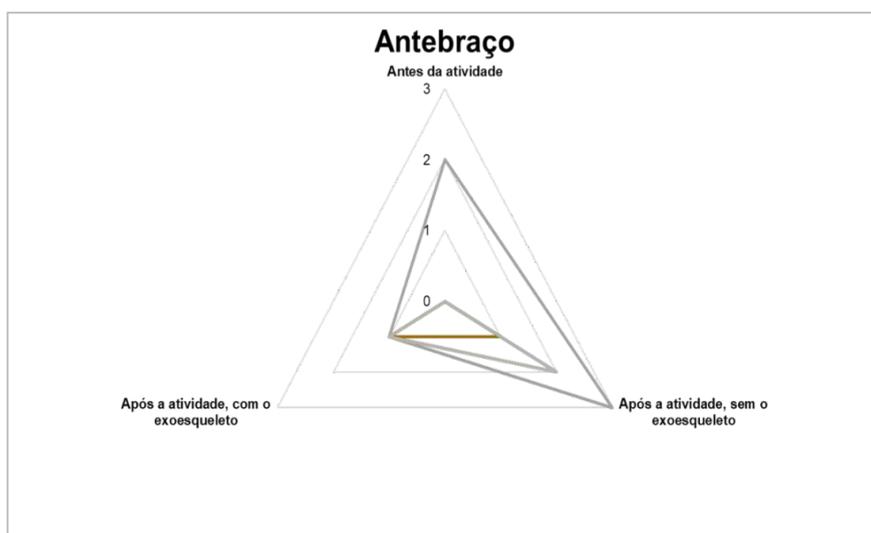
Figura 46 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o cotovelo lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

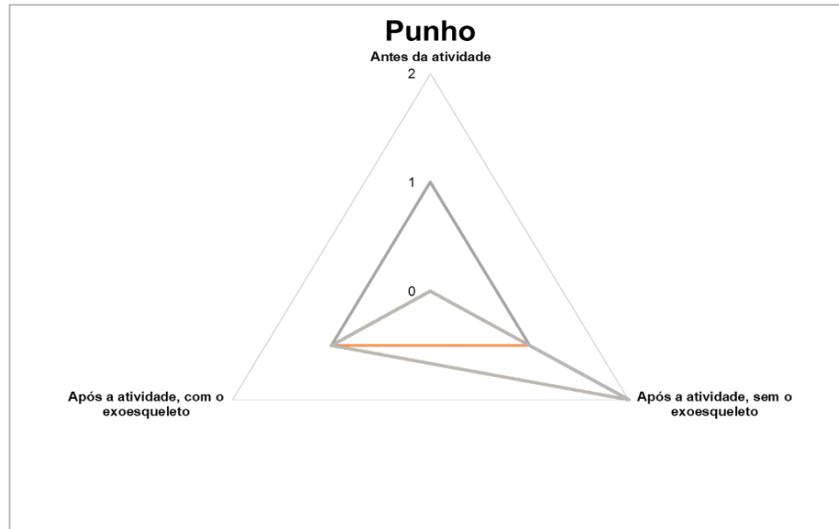
Figura 47 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o antebraço lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

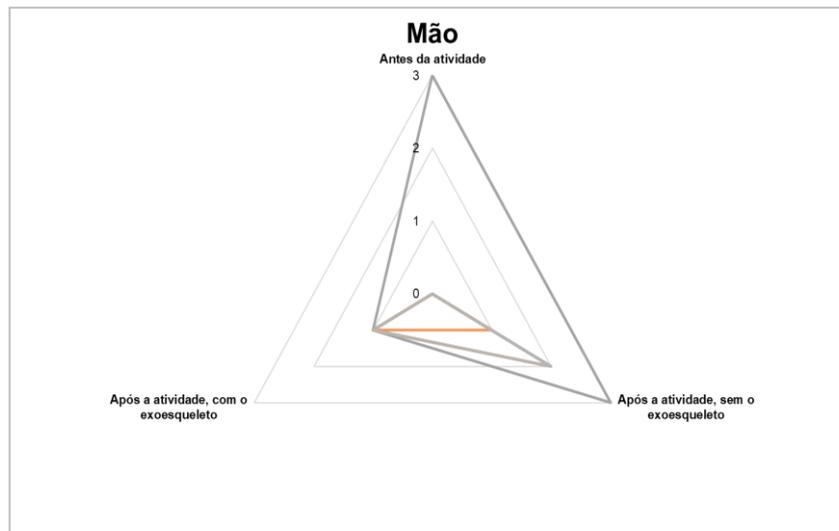
Figura 48 - Resultados da análise de desconforto/ dor para o punho lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

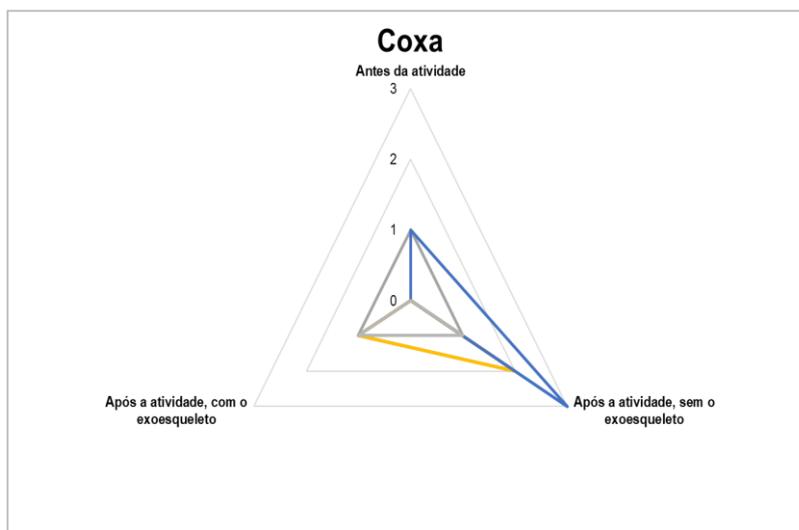
Figura 49 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a mão lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

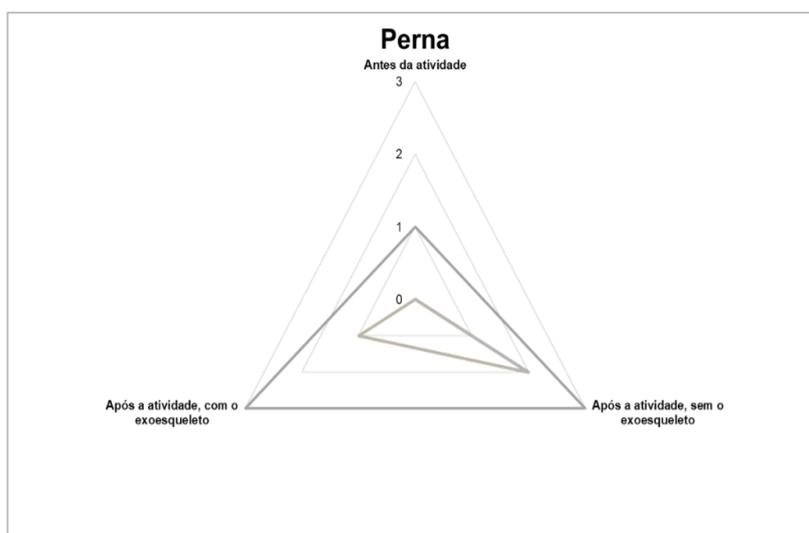
Figura 50 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a coxa lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

Figura 51 - Resultados da análise de desconforto/ dor para a perna lado esquerdo



Fonte: Autora (2024)

Legenda: 0 - Nenhum desconforto/dor; 1 - Algum desconforto/dor; 2 - Moderado desconforto/dor; 3 - Bastante desconforto/dor; 4 - Intolerável desconforto/dor. Cada cor nos gráficos representa um participante da pesquisa (n=15).

Observa-se nos gráficos que as regiões de ombros e pernas alcançaram pontuações mais elevadas de desconforto/ dor após a atividade com e sem o exoesqueleto, o que corrobora com as regiões mais utilizadas no momento da atividade, quando do movimento dos ombros para realizar o esmerilhamento com

lixadeira e a manutenção da postura em pé que faz com que haja o aumento do desconforto nos membros inferiores no fim do dia de trabalho (Zander Et. Al., 2004; Messing Et. Al., 2008; Balasubramanian Et. Al., 2009). Nas demais regiões, os níveis mais altos de desconforto/ dor foram relatados nos momentos antes da atividade e após a atividade sem o exoesqueleto. Mesmo assim, a frequência de linhas coloridas até o nível 2 e 3 de desconforto/ dor foi mais frequente no momento de avaliação após a atividade sem o exoesqueleto.

4.2.3 *Análise de posturas por meio do REBA (Hignett & Mcatamney, 2000)*

Com relação à carga física, nota-se que os oficiais de via permanente submetem os seus membros superiores a manejos sequenciais e repetitivos para manuseio da lixadeira e da retífica. No trabalho dos oficiais de via permanente há uma exigência postural que está diretamente relacionada com a manutenção de posturas desconfortáveis. As principais posturas adotadas pelos oficiais de via permanente observados, de acordo com a técnica REBA de avaliação postural (Hignett & Mcatamney, 2000), foram:

- Tronco Ereto para manter-se na postura em pé e em deslocamento;
- Flexão de tronco de alterna de 20° a 60° até acima de 60° - para melhor alcance motor e visual devido à altura da superfície de trabalho que é realizada no aparelho de mudança de via (trilho) e movimentação continua durante a atividade.
- Flexão e rotação de pescoço 0° a 20° e por vezes acima de 20° - para melhor alcance motor e visual devido à altura da superfície de trabalho que é realizada no aparelho de mudança de via (trilho) e movimentação continua durante a atividade.
- Pernas – peso distribuído nas duas pernas (bilateral), ora parado, ora em movimento, adotando flexão de joelhos entre 30° e 60° na maior parte da execução da atividade, principalmente no momento de esmerilhamento de trilho e acabamento do esmerilhamento com uso da retífica com momento de adoção de flexão de joelhos acima de 60°, principalmente no momento da demarcação do local do esmerilhamento utilizando spray de tinta.
- Braços extensão de 20° na maioria do tempo de execução da atividade, porém

há adoção de flexão de ombros a 90° com elevação dos mesmos no momento de carga e descarga de materiais.

- Na maior parte do tempo de execução da tarefa, os punhos mantiveram-se em flexão entre 0° e 15°, com episódios de flexão acima de 15°, principalmente na execução do esmerilhamento com uso de lixadeira e acabamento do esmerilhamento com uso da retífica.

Figura 52 - Movimentos de tronco, pescoço, pernas, braços e punhos mais frequentes entre os oficiais de via permanente observados



Fonte: Autora (2024)

De acordo com a técnica REBA (Rapid Entire Body Assessment) (Hignett & Mcatamney, 2000), a atividade da tarefa dos oficiais de via permanente observados, conforme a adoção e o tempo de manutenção das posturas, é considerada com o níveis de risco médio tanto para atividade realizada sem o exoesqueleto com média de escore de 7,37 quanto para a atividade realizada com o exoesqueleto com média de escore de 5,95. Foi observada diferença estatisticamente significativa nas avaliações do REBA ($p < 0,001$), ou seja, quando o grupo realizou a atividade sem o exoesqueleto os valores médios foram mais elevados do que quando a atividade foi realizada utilizando o exoesqueleto. O resultado sugere um nível de ação 2: são necessárias ações – incluindo outras análises além do REBA – que verifiquem com mais exatidão o constrangimento postural observado e que busquem a melhoria ou amenização do problema. Esta afirmação corrobora os dados do levantamento inicial realizado pelas observações assistemáticas e os dados levantados na literatura (Cardoso, 2019; Dahmen & Hefferle, 2018; Diniz, 2003), confirmando a carga física no trabalho dos oficiais de via permanente.

A técnica REBA mostrou, ainda, que não houve diferença entre do nível de risco com e sem o uso do exoesqueleto, tendo em vista que apesar do escore ter diminuído, o nível do risco permaneceu, o que corrobora o estudo de Cardoso (2019),

o qual concluiu através da aplicação da técnica REBA que a utilização do exoesqueleto nas tarefas industriais testadas no seu estudo não diminuiu significativamente os fatores de risco postural. Outro fato importante é o posicionamento do local de execução de atividade que é o mesmo para todos os trabalhadores e é o que faz com que os mesmos adotem tal postura (flexão anterior da coluna vertebral) para facilitar tanto alcance motor, quanto o visual.

Os resultados da técnica de REBA (Rapid Entire Body Assessment) são apresentados na tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Resultados da técnica REBA

	REBA		
	Sem o exoesqueleto	Com o exoesqueleto	p-valor
Média	7,37	5,95	<0,001

Fonte: Autora (2024)

4.2.4 Dinamometria

Visando uma investigação mais profunda sobre a presença de carga física relacionada a força muscular da coluna lombar, no trabalho dos oficiais de via permanente com e sem exoesqueleto, partiu-se para a mensuração da força muscular isométrica da coluna lombar por meio de uma análise quantitativa com o uso da dinamometria. Os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 6 - Resultados da dinamometria

Dinamometria					
	Antes da Atividade		Após a atividade		p-valor
	Com o exoesqueleto	Sem o exoesqueleto	Com o exoesqueleto	Sem o exoesqueleto	
Média	123,9 KGF	117,8 KGF	119,9 KGF	116,8 KGF	= 0.5279

Fonte: Autora (2024)

Sobre os resultados da dinamometria não se observou uma grande diferença entre as situações antes e após a atividade, com e sem exoesqueleto. Pôde-se observar que as médias entre os grupos ficaram entre 116,82 KGF, na tabela 6 foram apresentadas a comparação nos momentos antes e após a atividade com e sem exoesqueleto e as médias variaram de 116,82 KGF a 123,94 KGF não havendo

diferença estatística entre os momentos de avaliação, sendo $p= 0.5279$. Acredita-se que pelo exoesqueleto ter um sistema de suporte peitoral e nas coxas que com que quando o trabalhador realiza a inclinação anterior do tronco (flexão) ele contrai o músculo abdominal, condição ideal pois fortalece a parede abdominal, a cinta natural protetora da coluna lombar. Quando ele faz o retorno para a postura em pé neutra (extensão) os suportes puxam o tronco, diminuindo assim a exigência muscular.

Essa condição funciona bem com peso, uma vez que o exoesqueleto aumenta a força lombar do trabalhador como foi percebido, e em postura estática, mantida em inclinação anterior do tronco (flexão), situação não encontrada em atividade bem dinâmica do tronco. Dessa forma a aplicabilidade do exoesqueleto é maior em atividade de levantamento de peso do que em atividades que requerem manutenção de postura estática de inclinação anterior do tronco, lembrando que pelo princípio da ergonomia, sempre se tem que optar inicialmente pela adaptação do ambiente ao humano, propiciando o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente, corroborando com o estudo de Veronesi (2020), o qual cita que a aplicabilidade do exoesqueleto é maior em atividade de levantamento de peso do que em atividades que requerem manutenção de postura estática de inclinação anterior do tronco. Porém, quando o mesmo aliou a dinamometria monitorada pela eletromiografia obteve uma avaliação mais profunda do comportamento neuromuscular dos segmentos envolvidos.

4.2.5 Correlação entre as variáveis do trabalho

A tabela 7 apresenta a matriz de correlação entre as medidas de dinamometria e da técnica REBA com e sem o exoesqueleto. Foram observadas correlações estatisticamente significativas e negativas entre o REBA sem exoesqueleto, a dinamometria antes da atividade sem o exoesqueleto ($\rho=-0,541$; $p=0,037$), e a dinamometria depois da atividade com o exoesqueleto ($\rho=-0,557$; $p=0,031$). Este resultado sugere que o risco postural sem o uso do exoesqueleto está associado a menores níveis de força muscular após a atividade, mesmo quando o exoesqueleto é utilizado.

Tabela 7 - Matriz de correlação entre a dinamometria e o REBA

		REBA sem exoesqueleto	REBA com exoesqueleto
Dinamometria antes sem o exo	rho	-0,541*	0,007
	p	0,037	0,980
Dinamometria antes com o exo	rho	-0,344	0,367
	p	0,209	0,179
Dinamometria depois sem o exo	rho	-0,459	0,198
	p	0,085	0,480
Dinamometria depois com o exo	rho	-0,557*	0,395
	p	0,031	0,145

Fonte: Autora (2024)

Legenda: as correlações significativas foram destacadas em negrito e com asterisco.

A tabela 8 apresenta a matriz de correlação entre as medidas de dinamometria, REBA e análise de desconforto/dor para tronco e membros. Não houve correlação estatisticamente significativa entre as medidas ($p > 0,05$). Esses achados sugerem que, embora o exoesqueleto possa influenciar a força muscular após a atividade, o risco postural (medido pelo REBA) tem um impacto negativo significativo na força muscular, independentemente do uso do exoesqueleto. Além disso, a falta de correlação significativa entre a análise de desconforto/dor e as outras medidas sugere que a percepção subjetiva de desconforto pode ser influenciada por fatores adicionais não capturados pelas medidas de dinamometria e REBA.

Tabela 8 – Matriz de correlação entre dinamometria, REBA e análise de desconforto/dor para tronco e membros (rho)

	Dinamometria				REBA	
	Antes sem o exo	Antes com o exo	Depois sem o exo	Depois com o exo	Sem exo	Com exo
Antes da atividade						
Pescoço	0,409	-0,091	0,364	0,409	-0,277	0,358
Coluna Cervical	0,105	-0,202	0,265	0,148	-0,352	0,111
Coluna Torácica	-0,110	-0,256	-0,058	-0,210	-0,023	-0,171
Coluna Lombar	0,128	-0,281	0,017	0,058	0,098	0,093
Bacia/Quadril	-0,110	-0,256	-0,058	-0,210	-0,023	-0,171
Ombros	-0,045	-0,363	0,205	0,000	-0,277	0,000

Braços	-0,310	-0,186	-0,031	-0,248	-0,189	-0,244
Cotovelos	-0,500	-0,409	-0,114	-0,454	0,139	-0,358
Antebraços	-0,310	-0,186	-0,031	-0,248	-0,189	-0,244
Punhos	-0,310	-0,186	-0,031	-0,248	-0,189	-0,244
Mão	-0,310	-0,186	-0,031	-0,248	-0,189	-0,244
Coxas	0,000	0,000	0,114	0,045	-0,277	0,000
Pernas	-0,310	-0,186	-0,031	-0,248	-0,189	-0,244
Após a atividade, sem exoesqueleto						
Pescoço	-0,015	-0,114	0,205	0,072	-0,353	-0,144
Coluna Cervical	0,132	0,039	0,231	0,220	-0,463	0,288
Coluna Torácica	0,217	0,083	0,202	0,202	-0,257	0,354
Coluna Lombar	0,212	-0,118	0,146	0,169	-0,051	0,219
Bacia/Quadril	0,139	-0,056	0,124	0,090	-0,257	0,199
Ombros	0,164	-0,180	0,077	0,131	-0,212	0,350
Braços	-0,154	0,018	-0,074	-0,094	-0,227	0,038
Cotovelos	0,030	0,023	-0,008	0,031	-0,198	0,109
Antebraços	0,041	0,224	0,186	0,104	-0,341	-0,085
Punhos	0,116	0,088	0,003	0,085	-0,145	0,266
Mão	-0,062	0,100	0,022	-0,005	-0,264	0,076
Coxas	0,210	0,361	0,177	0,286	-0,430	0,169
Pernas	-0,062	0,100	0,022	-0,005	-0,264	0,076
Após a atividade, com exoesqueleto						
Pescoço	-0,382	-0,136	-0,021	-0,262	-0,163	-0,530
Coluna Cervical	0,046	-0,101	0,098	0,013	-0,084	0,356
Coluna Torácica	0,138	0,127	0,160	0,187	-0,387	0,286
Coluna Lombar	0,321	-0,027	0,059	0,249	-0,021	0,361
Bacia/Quadril	-0,230	0,045	-0,196	-0,199	-0,084	0,115
Ombros	0,043	0,191	0,271	0,124	-0,263	-0,006
Braços	-0,018	0,161	0,161	0,090	-0,344	-0,082
Cotovelos	-0,275	-0,196	0,059	-0,196	-0,141	-0,246
Antebraços	-0,018	0,161	0,161	0,090	-0,344	-0,082
Punhos	-0,161	-0,233	-0,144	-0,179	-0,043	0,183
Mão	-0,248	-0,071	-0,071	-0,142	-0,149	0,061
Coxas	0,111	0,259	0,296	0,185	-0,244	0,042
Pernas	0,148	0,051	0,217	0,105	-0,163	0,126

Fonte: Autora (2024)

Legenda: as correlações significativas foram destacadas em negrito e com asterisco.

De maneira geral, os resultados da presente pesquisa corroboram os dados da literatura em relação aos problemas de postura de trabalho e sobrecarga muscular relacionada ao trabalho que é um dos atuais desafios em saúde ocupacional relacionados a população trabalhadora (Bevan, 2015; Costa & Vieira, 2010; Punnett & Wegman, 2004; Sultan-Taïebet *et al.*, 2017) que são encontrados também no trabalho dos oficiais de via permanente, porém acrescenta-se a estas pesquisas a relação entre o impacto do uso do exoesqueleto passivo para costas na atividade de esmerilhamento de trilho.

Com base nos resultados, conclui-se com a tabela de recomendações de melhoria preliminares, as recomendações ergonômicas com base nos resultados das técnicas utilizadas.

Tabela 9 - Recomendações de melhoria preliminares

TÉCNICA	RESULTADO	RECOMENDAÇÕES DE MELHORIA
MAPA DAS REGIÕES CORPORAIS - CORLETT	Maior desconforto/dor em tronco, ombros e pernas	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar investigação da dor e relacionar com as atividades laborais; - Acompanhar periodicamente o nível de dor; - Estabelecer tempos de pausas e de recuperação; - Disponibilizar locais e assentos mais confortáveis nos tempos de pausa.
REBA	Maior score 7,37 sem exoesqueleto	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer plano de revezamento das atividades; - Estabelecer micropausas para recuperação das articulações mais exigidas; - Realizar movimentos compensatórios em intervalos dos ciclos; - Conscientizar colaboradores a não permanecerem longo tempo de flexão de coluna lombar durante o ciclo da tarefa; - Avaliar a implementação de dispositivos que reduzam a sobrecarga muscular na região lombar; - Estudar viabilidade de uso de dispositivo que mantenha a lixadeira mais próxima das mãos do trabalhador; - Verificar a viabilidade de um robô de lixamento para substituição da lixadeira.
DINAMOMETRIA	Menor grau de força sem exoesqueleto	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer micropausas para recuperação das articulações mais exigidas; - Realizar movimentos compensatórios em intervalos dos ciclos;

		<ul style="list-style-type: none">- Avaliar a implementação de dispositivos que reduzam a sobrecarga muscular na região lombar;- Estudar viabilidade de uso de dispositivo que mantenha a lixadeira mais próxima das mãos do trabalhador;- Verificar a viabilidade de um robô de lixamento para substituição da lixadeira
--	--	---

Fonte: Autora (2024)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar as condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e analisar se o uso de um exoesqueleto passivo influencia nos fatores de risco, relacionados à carga física, na atividade de esmerilhamento de trilho, visando a saúde, eficiência e segurança dos trabalhadores em uma indústria de mineração.

Como objetivos específicos, pretendeu-se: a) realizar o levantamento e o mapeamento (ranking) de problemas (IDEs) no trabalho da via permanente (esmerilhamento de trilho); b) analisar o nível de carga física entre os trabalhadores e a sua relação com e sem o uso de um exoesqueleto passivo, quando da realização de atividades; c) propor recomendações de melhoria, considerando os IDEs encontrados e, também, o nível de carga física. Tem-se como questão de pesquisa: “Como a intervenção ergonômica pode contribuir para um melhor entendimento a respeito das condições de trabalho e do nível da carga física nas atividades de esmerilhamento de trilhos, principalmente em ações com o uso e sem o uso de um exoesqueleto passivo?”.

Tem-se como hipóteses, com base no problema definido, H1: Há a presença de níveis elevados de carga física entre os trabalhadores, durante a realização da atividade de esmerilhamento de trilho; H2: Há níveis mais reduzidos de carga física entre os trabalhadores com o uso do exoesqueleto passivo durante a realização da atividade de esmerilhamento de trilho.

Para se confirmar ou refutar a questão da pesquisa, foram realizadas avaliações do nível de demanda física imposta aos oficiais de via permanente por meio do Diagrama de Segmentos Corporais- Corlett para análise de desconforto/dor, da avaliação de posturas com o uso do REBA – Rapid Entire Body Assessment e da avaliação de força muscular por meio da dinamometria.

Entende-se que a combinação dos tratamentos quantitativos e qualitativos dos resultados foram complementares e enriquecedores para análise e discussões finais para que fosse resolvida a questão da pesquisa, além de enriquecer o acervo de estudos voltados para as condições de trabalho da atividade de esmerilhamento de trilho, assim como no que concerne o uso do exoesqueleto passivo para as costas para tal atividade.

Os resultados desta pesquisa dizem respeito à população amostrada em uma indústria de mineração no setor de manutenção de via permanente em São Luís - MA. No entanto, não há razões para suspeitar que estes dados não sejam representativos do trabalho dos oficiais de via permanente, tendo em vista que a amostra correspondeu a 94,3% da população total.

A partir da apreciação ergonômica, o problema da carga física foi abordado pelos oficiais de via permanente durante o levantamento dos constrangimentos ergonômicos confirmando, de certa forma, a primeira hipótese articulada na introdução deste trabalho. De maneira geral, os oficiais de via permanente percebem a postura ocupacional, o tempo em que passam em postura inadequada e carga física como constrangimentos ergonômicos de média intensidade e a questão do posicionamento do trilho em relação à execução da atividade e que os deixa insatisfeitos. Além disto, eles se sentem cansados ao final do dia de trabalho e percebem níveis elevados de desconforto/dor nas regiões corporais dos ombros, costas e pernas, o que corrobora a literatura revisada (Massad *et al.*, 2011; Kunda *et al.*, 2013; Reardon *et al.*, 2014; Sousa *et al.*, 2015; Dias, Serra e Lima, 2021). Tem-se, ainda, que, de acordo com os resultados do questionário de validação, os oficiais de via permanente apresentam que as regiões de ombros e pernas alcançaram pontuações mais elevadas de desconforto/ dor após a atividade com e sem o exoesqueleto. Nas demais regiões, os níveis mais altos de desconforto/ dor foram relatados nos momentos antes da atividade e após a atividade sem o exoesqueleto.

Os resultados do questionário de validação evidenciaram, ainda, que o trabalho dos oficiais de via permanente exige um carga física geral de maior intensidade, corroborando também com itens priorizados na Matriz Gut (tabela 4), sendo que essa intensidade pode estar relacionada com a exigência postural pelo tempo de manutenção das posturas adotadas e pela postura adotada por mais tempo ser inclinação anterior da coluna, sendo que, essa exigência postural, no decorrer da atividade de esmerilhamento de trilho, acaba por fazer com que os oficiais de via permanente busquem posições de descanso, como a distribuição do peso do corpo em uma das pernas ou extensão da coluna. De maneira geral, a apreciação ergonômica mapeou os principais IDEs: ambiente, biomecânico, organização, empresa e desconforto/dor, sendo que os IDEs relativos à carga física (como cansaço, postura e desconforto nas costas e braços foram maior evidência no ranking.

Além da carga física, os resultados da presente pesquisa apontam, também, por meio de uma abordagem macroergonômica (pela aplicação das entrevistas abertas e do questionário de validação, além de observações assistemáticas realizadas in loco), outros constrangimentos ergonômicos presentes no trabalho dos oficiais de via permanente que executam a atividade de esmerilhamento de trilho como os relacionados aos constructos de risco, ambiente, organizacional e empresa.

Ainda, os resultados da diagnose apresentaram que a carga física se fez presente no trabalho dos oficiais de via permanente (esmerilhamento de trilho), por outro lado, comprovou-se que quando do uso do exoesqueleto passivo a carga física apresentou menor intensidade, principalmente para o desconforto/dor de ombros e pernas que alcançaram pontuações mais elevadas de desconforto/ dor após a atividade sem o exoesqueleto, em relação ao REBA, o qual considerou o momento da realização das tarefas com maior exposição a posturas mais inadequadas, em termos de movimentos realizados (cinesiologia), considerando os princípios da biomecânica, houve redução do score de risco foi observada diferença estatisticamente significativa, porém sem impacto no nível do risco postural e quanto a dinamometria pôde-se observar que as médias entre os grupos ficaram entre 116,82 KGF, não havendo diferença estatística entre os momentos de avaliação, sendo $p= 0.5279$.

Observa-se que os resultados da integração das técnicas apontaram que houve uma correlação estatisticamente significativa e negativa entre os escores REBA sem exoesqueleto e a força muscular medida pela dinamometria antes da atividade sem exoesqueleto ($\rho=-0,541$; $p=0,037$). Isso indica que o maior risco postural está associado a menores níveis de força muscular antes da atividade.

Também houve uma correlação negativa significativa entre os escores REBA sem exoesqueleto e a dinamometria depois da atividade com exoesqueleto ($\rho=-0,557$; $p=0,031$). Este resultado sugere que risco postural sem o uso do exoesqueleto está associado a menores níveis de força muscular após a atividade, mesmo quando o exoesqueleto é utilizado.

Não foram encontradas correlações estatisticamente significativas entre as medidas de dinamometria, REBA e análise de desconforto/dor para tronco e membros ($p>0,05$). Isto indica que a força muscular, os escores de risco postural e a percepção de desconforto/dor podem ser variáveis independentes, não diretamente correlacionadas entre si neste contexto específico.

Esses achados sugerem que, embora o exoesqueleto possa influenciar a força muscular após a atividade, os riscos posturais (medidos pelo REBA) têm um impacto negativo significativo na força muscular, independentemente do uso do exoesqueleto. Além disso, a falta de correlação significativa entre a análise de desconforto/dor e as outras medidas sugere que a percepção subjetiva de desconforto pode ser influenciada por fatores adicionais não capturados pelas medidas de dinamometria e REBA.

Estas conclusões destacam a importância de considerar múltiplos fatores ao avaliar o impacto do uso de exoesqueletos na percepção de desconforto e dor dos trabalhadores.

Em suma, ficou claro nos resultados apresentados que, independentemente do uso do exoesqueleto, há a presença de carga física moderada entre os oficiais de via permanente. Conclui-se, então, que a carga física é perceptível na atividade de esmerilhamento de trilho. Têm-se, portanto, a confirmação da hipótese de que há a presença de níveis elevados de carga física entre os trabalhadores, durante a realização da atividade de esmerilhamento de trilho, porém em relação a hipótese de que há níveis mais elevados de carga física entre os trabalhadores sem o uso do exoesqueleto passivo, durante a realização da atividade de esmerilhamento de trilho, apesar da análise de desconforto/dor ter sido a avaliação que se mostrou mais favorável quando do uso do exoesqueleto, pois mais participantes relataram dor e desconforto moderado ou bastante (pontuações 2 e 3) no tronco após a atividade sem o exoesqueleto.

Em relação ao REBA e a dinamometria não se observou uma grande diferença entre as situações antes e após a atividade, com e sem exoesqueleto, o que demonstra ser preciso um maior aprofundamento sobre esta questão visando saber se outras técnicas além do REBA e dinamometria podem confirmar tal hipótese, como no estudo de Veronesi (2020), no qual a dinamometria foi aliada a eletromiografia, técnica de avaliação mais profunda com intuito de obter uma avaliação mais profunda do comportamento neuromuscular dos segmentos envolvidos.

Vale ressaltar a importância de uma abordagem integrada para avaliar carga de trabalho física. Só o uso de várias técnicas de maneira simultânea pode viabilizar um maior nível de fidedignidade dos resultados em se tratando de análise, avaliação e descrição da carga física envolvida no trabalho observado.

De maneira geral, os resultados da presente pesquisa corroboram os dados da literatura em relação aos problemas de postura de trabalho e sobrecarga muscular relacionada ao trabalho que é um dos atuais desafios em saúde ocupacional relacionados a população trabalhadora (da Costa & Vieira, 2010; Punnett&Wegman, 2004; Bevan, 2015; Sultan-Taïebet *al.*, 2017) que são encontrados também no trabalho dos oficiais de via permanente, porém acrescenta-se a estas pesquisas a relação entre o impacto do uso do exoesqueleto passivo para costas na atividade de esmerilhamento de trilho.

A presente pesquisa só foi possível de ser realizada devido ao interesse dos gestores envolvidos, tendo em vista que para o acompanhamento da atividade depende-se de programação, assim como disponibilidade operacional e do climatempo.

Em contrapartida, deve-se mencionar o fato de que voluntariamente os oficiais de via permanente concordaram em contribuir com a coleta de dados da pesquisa (realização de entrevistas, questionários, teste do uso do exoesqueleto para aplicação das técnicas) assinando o termo de consentimento que lhes fora apresentado (Apêndice A).

Cabe ressaltar que não há na literatura pesquisas que relacionem o uso do exoesqueleto para costas passivo na atividade de esmerilhamento de trilho, para verificar o nível de exposição a sobrecarga física que esta relação traz a estes trabalhadores. Desta forma, este trabalho representa uma contribuição efetiva para os estudos ergonômicos relacionados ao trabalho dos oficiais de via permanente, assim como o uso de um exoesqueleto passivo para costas na atividade de esmerilhamento de trilho, já que estes apresentam-se em pouca quantidade na comunidade científica (De Looze *et al.*, 2016; Spada, *et al.*, 2017).

5.1 Desdobramentos da pesquisa

Fundamentando-se nos resultados da etapa de levantamento/mapeamento dos constrangimentos ergonômicos, nos resultados da avaliação das demandas física na atividade de esmerilhamento de trilho e nas conclusões apresentadas e discutidas, tem-se como possíveis desdobramentos desta pesquisa os tópicos a seguir:

É preciso salientar, ainda, que são necessárias pesquisas experimentais que possam replicar o projeto de experimento que fora utilizado para poder explorar

mais ainda as hipóteses contidas no presente estudo e as técnicas utilizadas.

Partindo deste pressuposto, apontam-se os seguintes desdobramentos desta pesquisa:

- Replicação da pesquisa em outras indústrias de mineração que possuem o setor de manutenção de via permanente;
- Recomenda-se que os estudos sejam feitos comparando não apenas um tipo de exoesqueleto;
- Recomenda-se também que sejam realizados outros estudos em que se possa avaliar também mulheres que executam a atividade de esmerilhamento de trilho;
- Recomenda-se que outras técnicas, como a eletromiografia de superfície para medir o comportamento neuromuscular dos segmentos envolvidos possam ser utilizadas combinadas às utilizadas neste estudo a fim de aprofundar os resultados da pesquisa;
- Aplicar outras técnicas de avaliação postural mais avançadas, como por exemplo a análise cinemática;
- Aplicar outras técnicas de parâmetros fisiológicos como: aferição de pressão arterial, batimentos cardíacos, termografia, níveis hormonais.

REFERÊNCIAS

ABIFER. **Indústria Ferroviária**. [S.l.]: ABIFER, 2023. Disponível em: <https://abifer.org.br/institucional/>. Acesso em: 16 dez. 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISSO 11226:2013**. Ergonomia- Avaliação de posturas estáticas de Trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AMARAL, J. F. **Medição da força muscular máxima de preensão da mão com três diferentes dinamômetros**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Educação Física) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010. Disponível em: https://www.congressosabincor.com.br/astherlab/uploads/File/8_congresso/educacao_fisica/MEDICAO_DA_FORCA_MUSCULAR_MAXIMA_DE_PREENSAO_DA_MAO_COM_TRES_DIFERENTES_DINAMOMETROS.pdf. Acesso em: 16 dez. 2022.

ANDRADE, C. G. A utilização do algoritmo de árvore de decisão C4.5 para a gestão do absenteísmo organizacional. **Postal Brasil –Revista técnico científica dos Correios**, v.2, p.61-70, 2018.

AZEVEDO, J. A. D. **Formação de líderes em engenharia: via permanente ferroviária**. Santos: [S.n], 2017.

BALASUBRAMANIAN V, A. K. R. Comparing dynamic and stationary standing postures in an assembly task. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, p. 649-65, 2009.b

BERNHARDT, M.; BRIDWELL, K. H. Análise segmentar do alinhamento do plano sagital das espinhas torácica e lombar normais e da junção toracolombar. **Spine**, v. 14, n. 7, p. 717-721, 1989.

BEVAN, S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. **Best Practice & Research Clinical Rheumatology**, [s.l.], v. 29, p. 356-373, 2015.

BODART, F. *et al.* A model-based approach to presentation: A continuum from task analysis to prototype. *In: Interactive Systems: Design, Specification, and Verification: 1st Eurographics Workshop, Bocca di Magra, Italy, June 1994*. Springer Berlin Heidelberg, 1995. p. 77-94.

BOGUE, R. Exoskeletons-a review of industrial applications. **Industrial Robot: An International Journal**, 2018.

BOHANNON, Richard W. Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 78, n. 1, p. 26-32, 1997.

BOSCH, T. et al. The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. **Applied ergonomics**, [s.l.], v. 54, p. 212-217, 2016.

BRÄUNIG, D; KOHSTALI T. Berechnung des internationalen "Return on Prevention" für Unternehmen - Kosten und Nutzen von Investitionen in den betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz. **DGUV Report**, Alemanha, v. 1, p. 34-38, 2013.

BRINA, H. L. Estradas de Ferro. Rio de Janeiro: Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1979. 258 p.

BRUNING, J. et al. Avaliação de risco ergonômico em atividade no setor de floricultura. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 24, n. 1, p. 58-63, 2019. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/13772>. Acesso em: 16 dez. 2022.

CARNEIRO, F. M. **Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM)**. Trabalho de Conclusão de Curso – (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

CHEN B., MA H., QIN, L., GAO, F., CHAN, K., LAW, S., QIN L., LIA, W. Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons. **Journal of Orthopedic Translation**, v. 5, p. 26-37, 2016.

CLAUS, M. et al. Prevalence of back pain in employees of a German chemical company: results of a large cross-sectional study. **Journal of Occupational Medicine and Toxicology**, v. 14, n. 1, p. 1-13, 2019.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. New York, NY: Routledge Academic, 1988.

COMAU. **Robotic Exoskeleton Suits with Improved Ergonomics**. Matext, 2020. Disponível em: <https://mate.comau.com/>. Acesso em: 15 maio 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Ferrovias 2015**. Brasília, 2015. 234 p. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Pesquisa/pesquisa-cnt-ferrovias>. Acesso em: 12 abr. 2023.

COSTA B. R.; VIEIRA E. R. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. **American Journal of Industrial Medicine**, [s.l.], 53, p. 285-323, 2010.

CREA, S. et al. Occupational exoskeletons: A roadmap toward large-scale adoption. Methodology and challenges of bringing exoskeletons to workplaces. **Wearable Technologies**, v. 2, 2021.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of test. **Psychometrika**, [s.l.], v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951.

CRONBACH, L. J. My current t procedures. **Educational and Psychological Measurement**, [s.l.], v. 64, n. 3, jun. 2004.

DAHMEN, C., & Hefferle, M. Application of Ergonomic Assessment Methods on an Exoskeleton Centered Workplace. **Proceedings of the The XXXth Annual DAYCHOUM, M. 40 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. 4. ed. Rio de Janeiro: BRASPORT Livros e Mídias Ltda, 2012. 361 p.

D'GARCIA DE ARAÚJO SILVA, Germanya. **Estudo comparativo entre três metodologias de intervenção ergonomizadora**: proposta preliminar para um modelo híbrido de intervenção. 2005. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5931>. Acesso em: 15 dez. 2022.

DIAS, E. Roza; SERRA, M. C; LIMA, E. V. Desperdícios na manutenção ferroviária: perdas por esperas no terminal ferroviário de ponta da madeira em São Luís, Maranhão. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 21, n. 3, p. 654-679, 2021.

DINIZ, R. L. Ergonomia: constrangimentos posturais; o caso do cirurgião eletivo geral [Dissertação de Mestrado em Design]. **Rio de Janeiro: PUC-Rio**, 1999.

DINIZ, R. L. **Avaliação das demandas física e mental no trabalho do cirurgião em procedimentos eletivos**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.ergonomianotrabalho.com.br/analise-ergonomica-medico.pdf>. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2020/07/PPT-FINAL-COMPLETO-SITE-E-PORTAL.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2022.

DUTRA, J. *et al.* **PRO - 022721 -Executar Inspeção e Manutenção Preventiva em AMV na EFC**. 2022.

ENGINEERING, JTH, **Industrial Engineering and Management**, 52f, 2018. Disponível em <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1216221/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 06/03/2023.

EISENHARDT, K. M. Construindo teorias a partir de pesquisa de estudo de caso. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989. *Ergonomics*. 31: 201-205, 2000.

FAUL, F., ERDFELDER, E., Lang, AG., BUCHNER, A. G. Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**, [s.l.], v. 39, 175-19, 2007.

FERREIRA, E. P. *et al.* **Estudo ergonômico de uma empresa de abate de aves: o caso do setor de armazenagem e expedição**. 2015.

FISCHER, D; GUIMARÃES, L. B. M. **Efeitos positivos da Ergonomia Participativa**: estudo de caso ABB. Anais ABERGO, Gramado, 6 set , 2001.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FON, G. T.; PITT, J. M.; THIES, JR, A. Cole. Cifose torácica: intervalo em indivíduos normais. **Revista Americana de Roentgenologia**, [s.l.] v. 134, n. 5, p. 979-983, 1980.

FOUQUET, N. *et al.* Prevalence of thoracic spine pain in a surveillance network. **Occupational Medicine**, [s.l.], v. 65, n. 2, p. 122-125, 2015.

FROST, D. M.; ABDOLI-E, M.; STEVENSON, J. M. PLAD (personal lift assistive device) stiffness affects the lumbar flexion/extension moment and the posterior chain EMG during symmetrical lifting tasks. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, [s.l.], v. 19, n. 6, p. e403-e412, 2009.

GALLEGOS, R. A. P. **Ferramentas de Gestão voltadas para melhoria da qualidade nas empresas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Freitas, 2023.

GARCÉS, D. S. C. **Exoesqueleto robótico para aumentar a capacidade física do membro superior humano**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GENENA, S. K *et al.* **Minério de ferro e Vale SA**: uma história de sucesso: tópicos em gestão da produção volume 3, p. 82, 2015.

GHÉLERE, H. L. **Noções de Via Permanente**. Curitiba: América Latina Logística, 2002, 22 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOPURA, R. A. R. C. *et al.* Developments in hardware systems of active upper-limb exoskeleton robots: A review. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 75, p. 203-220, 2016.

GRAHAM, Ryan B.; AGNEW, Michael J.; STEVENSON, Joan M. Effectiveness of an on-body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task: Assessment of EMG response and user acceptability. **Applied Ergonomics**, v. 40, n. 5, p. 936-942, 2009.

GUEDES, Wagner Almeida *et al.* Efeito de diferentes frequências de treinamento sobre a força muscular isométrica da coluna lombar em mulheres praticantes de treinamento de força. **Educação Física em Revista**, v. 7, n. 1, 2013.

GUIMARÃES, L., ANZANELLO, M., RIBEIRO, J., & SAURIN, T. International Journal of Industrial Ergonomics Participatory ergonomics intervention for improving human and production outcomes of a Brazilian furniture company. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 49, 97-107, 2025.

- GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo. Abordagem Ergonômica: Análise Macroergonômica do Trabalho-AMT. In: **Ergonomia de Processo**, 1999.
- HAEFFNER, Rafael *et al.* Absenteísmo por distúrbios musculoesqueléticos em trabalhadores do Brasil: milhares de dias de trabalho perdidos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 21, 2018.
- HASANI, Muhamad Hazizi Muhamad *et al.* O papel da intervenção de treinamento ergonômico ativo na dor e desconforto musculoesquelético de membros superiores: um ensaio clínico randomizado controlado por conglomerados. **Revista Internacional de Ergonomia Industrial**, v. 88, p. 103275, 2022.
- HENRIQUE, C. **Manutenção da Via Permanente com Foco na Produção**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia 2006.
- HERČKO, J.; ŠTEFÁNIK, A. **Komponenty a principy konceptu Industry 4.0**. ProIN: bimonthly CEIT.-ISSN, n. May 2015, 2015.
- HIGNETT, S. McATAMNEY, L. Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied IIDA, Itiro; BUARQUE, L. I. A. **Ergonomia: projeto e produção**. Editora Blucher, 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. IBRAM. **Mineração em números**. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2020/07/PPT-FINAL-COMPLETO-SITE-E-PORTAL.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2022.
- IPPOLITO, D.; CONSTANTINESCU, C.; RIEDEL, Oliver. Holistic planning and optimization of human-centred workplaces with integrated Exoskeleton technology. **Procedia CIRP**, v. 88, p. 214-217, 2020.
- Kinebot [Livro Eletrônico]: a inteligência artificial na ergonomia / Alison Alfred Klei...[et al.]. -- 2. ed. -- Curitiba, PR:Kinebot, 2023.PDF
- KLEIN, A. *et al.* Comparação de análise das posturas utilizadas por trabalhadores de manufatura entre a ferramenta RULA e o software Kinebot. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA DA ABERGO**. 2021. p. 158361.21-9.
- KONG, Yong-Ku *et al.* Ergonomic Assessment of a Lower-Limb Exoskeleton through Electromyography and Anybody Modeling System. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 13, p. 8088, 2022.
- KOOPMAN, A. S. *et al.* Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks. **Journal of biomechanics**, v. 83, p. 97-103, 2019.
- KUNDA, R; FRANTZ, Josè; KARACHI, Farhana. Prevalence and ergonomic risk factors of work-related musculoskeletal injuries amongst underground mine workers in Zambia. **Journal of occupational health**, v. 55, n. 3, p. 211-217, 2013.

LEE, H. *et al.* The technical trend of the exoskeleton robot system for human power assistance. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 13, n. 8, p. 1491-1497, 2012.

LIMA, I. A. X; MORO; A.R.T; COTRIM, T. P. Capacity index for work, psychosocial risk of work and musculoskeletal symptomatology in workers of a meat processing industry in Portugal. In: **Congress of the International Ergonomics Association**. Springer, Cham, 2018. p. 289-295.

LOOZE, M. P. *et al.* Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. **Ergonomics**, [s.l.], v. 59, n. 5, p. 671-681, 2016.

LORENZ, G. Estudo das manutenções e desgastes decorrentes do tráfego dos veículos ferroviários nos trilhos da via permanente da TRENURB. 2018.

LOWE, B. D.; BILLOTTE, W. G.; PETERSON, D. R. ASTM F48 formation and standards for industrial exoskeletons and exosuits. **IIE transactions on occupational ergonomics and human factors**, v. 7, n. 3-4, p. 230-236, 2019.

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.

MASSAD, M. D; LEITE, A. M. P.; DUTRA, T. R. Fatores ergonômicos relacionados à saúde e à segurança em trabalhadores de um viveiro florestal. In: **V Workshop de Análise Ergonômica do trabalho e II Encontro Mineiro de Estudos em Ergonomia**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

MAURICE, P. *et al.* Objective and subjective effects of a passive exoskeleton on overhead work. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 28, n. 1, p. 152-164, 2019.

MCATAMNEY, Lynn; CORLETT, E. Nigel. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. **Applied ergonomics**, v. 24, n. 2, p. 91-99, 1993.

MCFARLAND, Tasha; FISCHER, Steven. Considerations for industrial use: a systematic review of the impact of active and passive upper limb exoskeletons on physical exposures. **IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors**, v. 7, n. 3-4, p. 322-347, 2019.

MEDEIROS, J. C.G; *et al.* Análise Ergonômica do posto e trabalho de uma cozinheira em uma escola municipal de João Pessoa-PB: um estudo de caso. **XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Fortaleza, 2015.

MENDES, Tássia Zanutto *et al.* Análise macroergonômica do trabalho em uma indústria moveleira e sua relação com a satisfação dos colaboradores. 2017.

MESSING, K; TISSOT, F; STOCK, S. Distal lower-extremity pain and work postures in the quebec population. **American Journal of Public Health**, v. 98, n. 4, p. 705-713, 2008.

MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 7. ed. Petrópolis: Vozes

MORAES, A. MONT'ALVÃO, C. R. **Ergonomia: conceitos e aplicações Metodologia Ergonômica**. Rio de Janeiro. 2003.

MORAES, Anamaria de; MONT'ALVÃO, Cláudia. **Ergonomia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: 2AB Ltda., 2000. 232 p.

MOURA, Patrícia Martins de Lima *et al.* **Estudo da força de prensão palmar em diferentes faixas etárias do desenvolvimento humano**. 2008.

NEJAD, N. H., CHOOBINEH, A., RAHIMIFARD, H., HAIDARI, H. R., & REZA TABATABAEI, S. H. Musculoskeletal risk assessment in small furniture manufacturing workshops. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 19, v. 2, p. 275-284, 2013.

NETO, C. B. **Manual didático de Ferrovias-Primeira Parte**. Curitiba. 2012.

NOONEE. **Occupational Ergonomics and Safety Conference**. [s.l.:s.n], 2018. 2016. Disponível em: <https://www.noonee.com/>. Acesso em: 15 maio 2022.

OLIVEIRA, F. B.; MOREIRA, D. Força de prensão palmar e diabetes mellitus. **Rev Bras Clin Med**, [s.l.], v. 7, p. 251-255, 2009.

PAIVA, C. E. L. de. **Super e infraestruturas de ferrovias: critérios para projeto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016, 444 p.

PARENT-THIRION A. *et al.* Sixth European Working Conditions Survey - Overview report (2017 update). **Publications Office of the European Union**, Luxembourg; 2017, p. 109-110.

PARIBELLO, A. *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.

PATERNÓ, FABIO. Task models in interactive software systems. In: **Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering: Volume I: Fundamentals**. 2001. p. 817-836.

PAULUK, Daniele; MICHALOSKI, Ariel Orlei. Análise ergonômica do trabalho nas atividades de preparo do solo com trator agrícola. **Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 04) Año 2016**, 2016.

PAZ, J. M. **Riscos ergonômicos em trabalhadores no setor de mineração e propostas de intervenção: uma revisão integrativa.** 2021.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

PIRES, L. S. Relatório Anual de 2014. Vale S.A. Rio de Janeiro, p. 280. 2015.
 POOLMAN, R.; BEEN, H.; UBAGS, L. Desfecho clínico e resultados radiográficos após o tratamento operatório da doença de Scheuermann. **European Spine Journal**, v. 11, p. 561-569, 2002.

POSSEBOM et al. Avaliação ergonômica em um viveiro florestal de Santa Maria, RS. **Tecno-Lógica**, Vol. 21, n. 1, p. 30-36, 2017.

PREECE, J. Rogers; ROGERS, Y. Sharp. H.(2002). **Interaction Design: Beyond human-computer interaction.**

Punnett L., Wegman D. H. . Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, 14, 13-23. 2004.

RASHEDI E, Kim S; NUSSBAUM MA, Agnew MJ. Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work. **Ergonomic**, v. 57, n. 12, p. 864-74, 2014.

REARDON, L. M.; HEBERGER, J. R.; DEMPSEY, P. G. Analysis of Fatalities During Maintenance and Repair Operations in the U.S. Mining Sector. **IIE Trans Occup**, v. 2, n. 1, p. 27-38, abr, 2014.

RUSSO, A. C. *et al.* O impacto da indústria 4.0 na ergonomia dos trabalhadores do setor automobilístico. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 14465-14474, 2021.

SANTANDER MONTES, A. J.; RUIZ VAQUERO, R. Relación entre variables cuantitativas. **Cuba:[CD] Informática Médica II Editorial ECIMED**, p. 1-30, 2004.

SCHNIEDERS, Thomas Michael; STONE, Richard T. Current work in the human-machine interface for ergonomic intervention with exoskeletons. **International Journal of Robotics Applications and Technologies (IJRAT)**, v. 5, n. 1, p. 1-19, 2017.

SCHREIBER, Joseani *et al.* **As inovações da indústria 4.0 e os reflexos na ergonomia e segurança.** 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SELIG, E.T., WATERS, J.M. **Track geotechnology and substructures management.** Thomas Telford Services Ltd., Londres, 1994. 446 pp.

SERACO, I. P. **Procedimento para definição de políticas de manutenção de via permanente ferroviária**. 2019.

SERRANHEIRA, Florentino *et al.* Auto-referência de sintomas de lesões músculo-esqueléticas ligadas ao trabalho (LMELT) numa grande empresa em Portugal. **Rev Port Saúde Pública**, v. 2, p. 37-48, 2003.

SOARES, Antonio Vinícius *et al.* Correlação entre os testes de dinamometria de preensão manual, escapular e lombar. **Acta brasileira do movimento humano**, v. 2, n. 1, p. 65-72, 2012.

SOUSA, M. N. A. *et al.* Fatores ergonômicos, psicossociais e riscos no trabalho na mineração informal. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 3, p. 1099-1120, 2015.

SOUZA, Itamar *et al.* Aplicação de redes neurais artificiais para diagnóstico e controle de defeitos de bitola em via permanente ferroviária. **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, v. 38, p. 1-16.

SOUZA, João Paulo Campos de; RODRIGUES, Celso Luiz Pereira. Vantagens e limitações de duas ferramentas de análise e registro postural quanto à identificação de riscos ergonômicos. **XIII Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru**, p. 388-345, 2006.

SPADA, S.; *et al.* **Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry**: Procedia Manufacturing. Itália: Modena, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319886234_Investigation_into_the_Applicability_of_a_Passive_Upper-limb_Exoskeleton_in_Automotive_Industry. Acesso em: 24/03/2023.

STONE, H., SIDEL, J., OLIVER, S., WOOLSEY, A. & SINGLETON, R.C. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. **Food Technology**, v. 28, n.1, p. 24-34, 1974.

STORRS, Graham. The notion of task in human-computer interaction. In: **BCS HCI**. 1995. p. 357-365.

SUITX, **suitx®. suitx**, 2016. Disponível em: <https://suitx.com>. Acesso em: 15 maio 2022.

SULTAN-TAÏEB H. *et al.* Economic evaluations of ergonomic interventions preventing work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of organizational-level interventions. **BMC Public Health**, 17, 935, 2017.

THEUREL, J; DESBROSSES, K.. Exoesqueletos ocupacionais: visão geral de seus benefícios e limitações na prevenção de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho. **IISE Transações sobre Ergonomia Ocupacional e Fatores Humanos**, v. 7, n. 3-4, p. 264-280, 2019.

THIOLLENT, M. **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva, 2009.

TONIOLO, L. C. **Práticas relacionadas a indústria 4.0 e suas aplicações no campo da ergonomia: análise da implementação de exoesqueletos.** 2023.

TORRICELLI, D. *et al.* Benchmarking wearable robots: challenges and recommendations from functional, user experience, and methodological perspectives. **Frontiers in Robotics and AI**, p. 168, 2020.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1995.

ULREY, B. L.; FATHALLAH, F. A. Effect of a personal weight transfer device on muscle activities and joint flexions in the stooped posture. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 23, n. 1, p. 195-205, 2013.

UMER, Waleed *et al.* The prevalence of musculoskeletal symptoms in the construction industry: a systematic review and meta-analysis. **International archives of occupational and environmental health**, v. 91, n. 2, p. 125-144, 2018.

VALEMEDE, L; DE LIMA, M. **Estudo da gestão ergonômica do trabalho no setor de acabamentos de uma linha de montagem na indústria automobilística.** Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2018. Disponível em: <http://eventoscopq.mackenzie.br/index.php/jornada/xivjornada/paper/viewFile/910/665>. Acesso em: 06/03/2023.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa.** São Paulo: Atlas, v. 34, p. 38, 2006.

VERONESI JUNIOR, José Ronaldo; AQUINO, Helmar. Análise da confiabilidade e eficiência de exoesqueletos em linha de produção na manufatura. **Fisioterapia Brasil**, v. 21, 2020.

VIDON, F.; SOARES, L. S.; DO CARMO SANTORO, R. C. **O impacto da Gestão do Atrito na Manutenção da Via Permanente-Uma avaliação do emprego em ferrovias mundiais.** 2013.

VIEIRA, Rowena Maria Teixeira; CRUZ, MMC. Uma análise da distribuição de lotes carregados de minério de ferro ferrovia-porto: uma abordagem por simulação a eventos discretos. **XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 1661-1672.

WESSLÉN, J. Exoskeleton Exploration - Research, development, and applicability of industrial exoskeletons in the automotive industry. Jönköping University, School of. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.2, p. 14465-14474 feb. 2021.

Whitfield, B. H., Costigan, P. A., Stevenson, J. M., & Smallman, C. L. (2014). Effect of an on-body ergonomic aid on oxygen consumption during a repetitive lifting task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(1), 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.10.002>

WIXTED, Fiona; SHEVLIN, Mark; O'SULLIVAN, Leonard W. Distress and worry as mediators in the relationship between psychosocial risks and upper body musculoskeletal complaints in highly automated manufacturing. **Ergonomics**, v. 61, n. 8, p. 1079-1093, 2018.

YIN, Robert K. **Case study research: Design and methods**. Sage, 2009.

Zander JE, King PM, Ezenwa BN. Influence of flooring conditions on lower leg volume following prolonged standing. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 34 279-288, 2004.

ZANON, Paulo Henrique *et al.* **Análise ergonômica na construção civil: atividade de reboco interno de pavimentos residenciais**. 1997 284-289, 2019.

ZHANG, Ting; HUANG, He. A lower-back robotic exoskeleton: Industrial handling augmentation used to provide spinal support. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v. 25, n. 2, p. 95-106, 2018.

ANEXOS

ANEXO A – TERMO DE ANUÊNCIA**CARTA DE ANUÊNCIA**

Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos a pesquisadora Márcia Raissa Aragão Ferreira Pereira, a desenvolver o seu projeto de pesquisa **A ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO EM SÃO LUÍS-MA; INTERVENÇÃO ERGONÔMICA E O USO DO EXOESQUELETO PASSIVO**, que está sob a coordenação/orientação do Prof. Dr.  cujo objetivo é Avaliar as condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e verificar se a utilização de um exoesqueleto passivo influência nos fatores de riscos relacionados ao esforço físico na atividade de esmerilhamento de trilho, visando a eficiência, a saúde e segurança dos trabalhadores de uma empresa de mineração.

Esta autorização está condicionada ao cumprimento do (a) pesquisador (a) aos requisitos das Resoluções do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, comprometendo-se utilizar os dados pessoais dos participantes da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

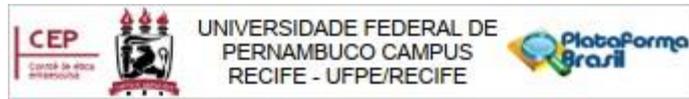
Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar a esta Instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Local, em 24, 04 / 2023.



Nome/assinatura e carimbo do responsável onde a pesquisa será realizada

ANEXO B - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: A ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO EM SÃO LUIS- MA: INTERVENÇÃO ERGONÔMICA E O USO DO EXOSQUELETO PASSIVO.

Pesquisador: [REDACTED]

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 74192523.3.0000.5208

Instituição Proponente: Centro de Artes e Comunicação

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.515.521

Apresentação do Projeto:

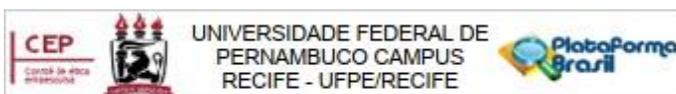
Trata-se de projeto de pesquisa relacionado à Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ergonomia do Centro de Artes e Comunicação da Universidade Federal de Pernambuco, tendo como pesquisadora responsável Marcia Raissa Aragao Ferreira Pereira (discente), sob orientação de Raimundo Lopes Diniz (docente).

O protocolo de pesquisa visa recrutar 23 (quinze) trabalhadoras e trabalhadores da área de manutenção de via permanente de uma indústria de mineração, convidando-os a participar de entrevistas presenciais e responder questionários. Além de autorizar a observação assistida de suas atividades laborais, com filmagens para ulterior análise.

Objetivo da Pesquisa:

Avaliar as condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e verificar se a utilização de um exoesqueleto passivo influencia nos fatores de riscos relacionados ao esforço físico na atividade de esmerilhamento de trilho, visando a eficiência, a saúde e segurança dos trabalhadores de uma empresa de mineração. Como objetivos específicos: (I) Realizar o levantamento e mapeamento (ranking) de problemas (itens de demanda ergonômica); (II) Verificar o nível de esforço físico entre os trabalhadores quando do uso do exoesqueleto durante a realização de suas atividades; (III) Propor recomendações de melhorias preliminares com foco na

Endereço: Av. das Engenheiras, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências de Saúde
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8585 **Fax:** (81)2126-3163 **E-mail:** cep@unimes.ufpe.br



Continuação do Parecer: 6.515.521

postura, gerais relacionadas à apreciação e específicas relacionadas à diagnose.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Sobre os riscos concernentes ao protocolo apresentado, a pesquisadora responsável informa do plano de implantação do exoesqueleto, onde a quantidade de horas de uso do exoesqueleto irá aumentar gradativamente, mas que os voluntários estarão devidamente assistidos. Além dos riscos de ordem psicológica que foram listados. Por sua vez, para cada risco, foram pensadas estratégias para sua minimização e/ou eliminação.

Quanto aos benefícios, o protocolo de pesquisa, cita como benefício direto, melhoria das condições de trabalho. De forma, que voluntários de pesquisa e demais trabalhadoras e trabalhadores executem atividades com mais conforto, saúde e segurança. Já os benefícios indiretos para os participantes da pesquisa ocorrerão, quando for perceptível a redução ou eliminação de lesões, no desenvolvimento da atividade de esmerilhamento de trilha; contribuir com a ciência no desenvolvimento de tecnologias aplicáveis, através de ferramentas e/ou novas formas de trabalho para os oficiais de via permanente.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto de pesquisa apresentado apresenta uma fundamentação importante, que possibilita sua compreensão e reconhecimento de sua importância. Além de se tratar de estudo com impactos na qualidade de vida das pessoas.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos anexados encontram-se em conformidade com as exigências do CEP.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

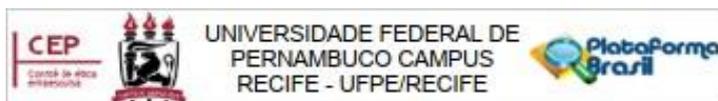
Após apreciação do protocolo de pesquisa, considera-se o mesmo apto a iniciar a coleta de dados, conforme pleiteado.

Considerações Finais a critério do CEP:

As exigências foram atendidas e o protocolo está APROVADO, sendo liberado para o início da coleta de dados. Conforme as instruções do Sistema CEP/CONEP, ao término desta pesquisa, o pesquisador tem o dever e a responsabilidade de garantir uma devolutiva acessível e compreensível acerca dos resultados encontrados por meio da coleta de dados a todos os voluntários que participaram deste estudo, uma vez que esses indivíduos têm o direito de tomar conhecimento sobre a aplicabilidade e o desfecho da pesquisa da qual participaram.

Informamos que a aprovação definitiva do projeto só será dada após o envio da NOTIFICAÇÃO

Endereço: Av. das Engenheiras, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-600
 UF: PE Município: RECIFE
 Telefone: (51)2126-8585 Fax: (51)2126-3163 E-mail: cep@ufpe.br



Continuação do Parecer: 6.515.521

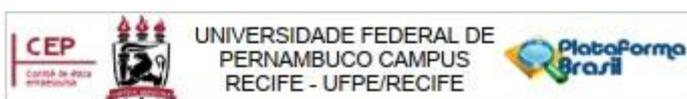
COM O RELATÓRIO FINAL da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final disponível em www.ufpe.br/cep para enviá-lo via Notificação de Relatório Final, pela Plataforma Brasil. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado. Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2203348.pdf	13/11/2023 18:34:57		Aceito
Outros	CARTA_RESPOSTA_PENDENCIAS_PB_PARECER_CONSUBSTANCIADO_CEP_6432486_assinado.pdf	13/11/2023 18:34:30		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoDetalhadoMarciaPereiraREV1.doc	13/11/2023 18:33:01		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TERMODECONSENTIMENTOLIVREESCLARECIDOPARAOCEPREV1.doc	13/11/2023 18:32:00		Aceito
Outros	CartaAnuenciaassinada.pdf	13/11/2023 18:31:38		Aceito
Folha de Rosto	FolhaderoStoMarciaPereira_.pdf	13/11/2023 18:29:28		Aceito
Outros	TermoConfidencialidade_assinado.pdf	14/09/2023 18:23:53		Aceito
Outros	ROTEIRODEENTREVISTAMODULOES PONTANEO.docx	13/09/2023 15:41:13		Aceito
Outros	ROTEIROENTREVISTA.docx	13/09/2023 15:40:47		Aceito
Outros	QUESTIONARIO.docx	13/09/2023 15:40:02		Aceito

Endereço: Av. dos Engenheiros, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-600
 UF: PE Município: RECIFE
 Telefone: (81)2126-8588 Fax: (81)2126-3163 E-mail: cep@ufpe.br



Continuação do Parecer: 6.515.521

Outros	AutUsoimagem.pdf	12/09/2023 14:13:31		Aceito
Outros	DECLUSODEDADOSVALEASSINADO.pdf	12/09/2023 14:11:40		Aceito
Outros	CurriculosLattesRaimundoLopesDiniz.pdf	12/09/2023 08:49:10		Aceito
Outros	CurriculosLattesMarciaRaissaAragaoFerreiraPereira.pdf	12/09/2023 08:48:35		Aceito
Outros	DECLARACAOMESTRADOMARCIAFERREIRA.pdf	12/09/2023 08:46:49		Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RECIFE, 21 de Novembro de 2023

Assinado por:

(Coordenador(a))

Endereço: Av. das Engenheiras, s/n, 1º andar, sala 4 - Prédio do Centro de Ciências da Saúde
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-600
 UF: PE Município: RECIFE
 Telefone: (81)2126-8588 Fax: (81)2126-3163 E-mail: ocp@ufpe.br

ANEXO C - AUTORIZAÇÃO DE USO DE ARQUIVOS/DADOS DE PESQUISA

VALE S.A

AUTORIZAÇÃO DE USO DE ARQUIVOS/DADOS DE PESQUISA

Declaramos para os devidos fins, que cedemos ao/à pesquisador/a **Márcia Raissa Aragão Ferreira Pereira**, o acesso aos arquivos de prontuários, base de dados do Processo de Ergonomia para serem utilizados na pesquisa: **A ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO EM SÃO LUÍS- MA: INTERVENÇÃO ERGONÔMICA E O USO DO EXOESQUELETO PASSIVO**, que está sob a orientação do/a Prof/a [REDACTED]

Esta autorização está condicionada ao cumprimento do (a) pesquisador (a) aos requisitos das Resoluções do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, comprometendo-se o(s) mesmo(a) a utilizar os dados pessoais dos participantes da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

[REDACTED]
 Nome/assinatura e carimbo do responsável pela Instituição [REDACTED] ou pessoa física delegada [REDACTED]

ANEXO D - TERMO DE COMPROMISSO E CONFIDENCIALIDADE

TERMO DE COMPROMISSO E CONFIDENCIALIDADE

Título do projeto: A ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO EM SÃO LUÍS- MA: INTERVENÇÃO ERGONÔMICA E O USO DO EXOESQUELETO PASSIVO.

Nome Pesquisador responsável: [REDACTED]

Instituição/Departamento de origem do pesquisador: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço completo do responsável: [REDACTED]

Telefone para contato: [REDACTED]

E-mail: [REDACTED]

Orientador/fone contato/e-mail: [REDACTED]

fone contato: [REDACTED]

e-

O pesquisador do projeto acima identificado assume o compromisso de:

- Garantir que a pesquisa só será iniciada após a avaliação e aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Federal de Pernambuco – CEP/UFPE e que os dados coletados serão armazenados pelo período mínimo de 5 anos após o término da pesquisa;
- Preservar o sigilo e a privacidade dos voluntários cujos dados serão estudados e divulgados apenas em eventos ou publicações científicas, de forma anônima, não sendo usadas iniciais ou quaisquer outras indicações que possam identificá-los;
- Garantir o sigilo relativo às propriedades intelectuais e patentes industriais, além do devido respeito à dignidade humana;
- Garantir que os benefícios resultantes do projeto retornem aos participantes da pesquisa, seja em termos de retorno social, acesso aos procedimentos, produtos ou agentes da pesquisa;
- Assegurar que os resultados da pesquisa serão anexados na Plataforma Brasil, sob a forma de Relatório Final da pesquisa;

Os dados coletados nesta pesquisa entrevistas, fotos, filmagens, questionários, ficarão armazenados em pastas de arquivo e no drive do email pessoal, sob a responsabilidade do pesquisador, no endereço acima informado, pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

Recife, 14 de setembro de 2023 .

 [REDACTED]

Assinatura Pesquisador Responsável

ANEXO E - TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM

Eu _____, CPF _____, RG _____, depois de conhecer e entender os objetivos, procedimentos metodológicos, riscos e benefícios da pesquisa da pesquisa intitulada "A ATIVIDADE DE ESMERILHAMENTO DE TRILHO EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO EM SÃO LUÍS- MA: INTERVENÇÃO ERGONÔMICA E O USO DO EXOESQUELETO PASSIVO", bem como de estar ciente da necessidade do uso de minha imagem e/ou depoimento, especificados no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), AUTORIZO, através do presente termo, os pesquisadores _____ a realizar as fotos/filmagem que se façam necessárias sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes.

Ao mesmo tempo, libero a utilização destas fotos/imagens (seus respectivos negativos) e/ou depoimentos para fins científicos e de estudos (livros, artigos, slides e transparências), em favor dos pesquisadores da pesquisa, acima especificados, obedecendo ao que está previsto nas Leis que resguardam os direitos das crianças e adolescentes (Estatuto da Criança e do Adolescente – ECA, Lei N.º 8.069/ 1990), dos idosos (Estatuto do Idoso, Lei N.º 10.741/2003) e das pessoas com deficiência (Decreto N.º 3.298/1999, alterado pelo Decreto N.º 5.296/2004).

São Luis-MA, data de mês de ano,

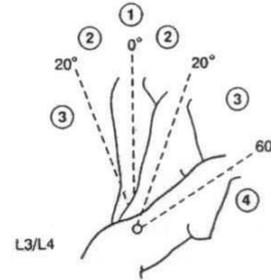
Participante da Pesquisa

Responsável Legal (Caso o entrevistado seja menor - incapaz)

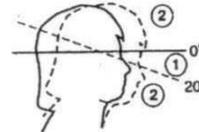
Pesquisador responsável

**ANEXO F – DIAGRAMAS E ESCORES DOS SEGMENTOS CORPORAIS
DEFINIDOS PELO REBA.**

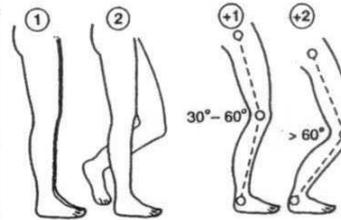
TRONCO		
POSTURA	ESCORE	ESCORE ADICIONAL
Ereto	1	+ 1 se o tronco estiver em movimento de torção ou flexão lateral
Flexão de 0° - 20°	2	
Extensão de 0° - 20°	3	
Flexão de 20° - 60°	4	
Extensão acima de 60°	4	



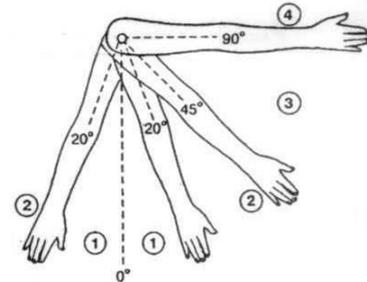
PESCOÇO		
POSTURA	ESCORE	ESCORE ADICIONAL
Flexão de 0° - 20°	1	+1 se o pescoço estiver em movimento de torção ou flexão lateral
Flexão ou em extensão acima de 20°	2	



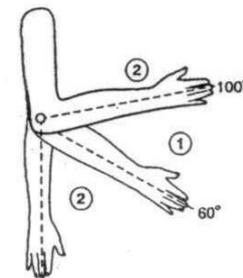
PERNAS		
POSTURA	ESCORE	ESCORE ADICIONAL
Peso distribuído nas duas pernas (bilateral), caminhando ou sentado	1	+1 Se a flexão dos joelhos estiver entre 30° e 60°;
Peso distribuído em uma das duas pernas (unilateral) ou postura instável	2	+2 Se a flexão entre os joelhos estiver acima de 60° (Não vale para a postura sentado)



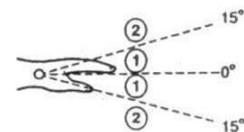
BRAÇOS		
POSTURA	ESCORE	ESCORE ADICIONAL
Flexão de 20° ou Extensão de 20°	1	+1 se o braço estiver em: • abdução • rotação
Flexão entre 20° e 45° ou extensão acima de 20°	2	
Flexão entre 45° a 90°	3	+1 se o ombro estiver elevado -1 Se inclinado, com suporte para o braço ou se a postura tem algum suporte da gravidade
Flexão acima de 90°	4	



ANTEBRAÇOS	
POSTURA	ESCORE
Flexão entre 60° a 100°	1
Flexão abaixo de 60° ou flexão acima de 100°	2



PUNHOS		
POSTURA	ESCORE	ESCORE ADICIONAL
Flexão/extensão entre 0° a 15°	1	+1 Se o punho estiver em movimento de desvio (ulnar e radial) ou giro (prono e supinação)
Flexão/extensão acima de 15°	2	



**ANEXO G – TABELAS DE ESCORES PARA AVALIAÇÃO DAS POTURAS
OBSERVADAS PELA TÉCNICA REBA**

TABELA A													
Tronco		Pesçoço											
		1				2				3			
1 2 3 4 5	Pernas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
		1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
		2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
		3	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
		4	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
		5	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

CARGA/FORÇA			
0	1	2	+1
Abaixo de 5Kg	Entre 5 e 10Kg	Acima de 10Kg	Aumento rápido de força (pico)

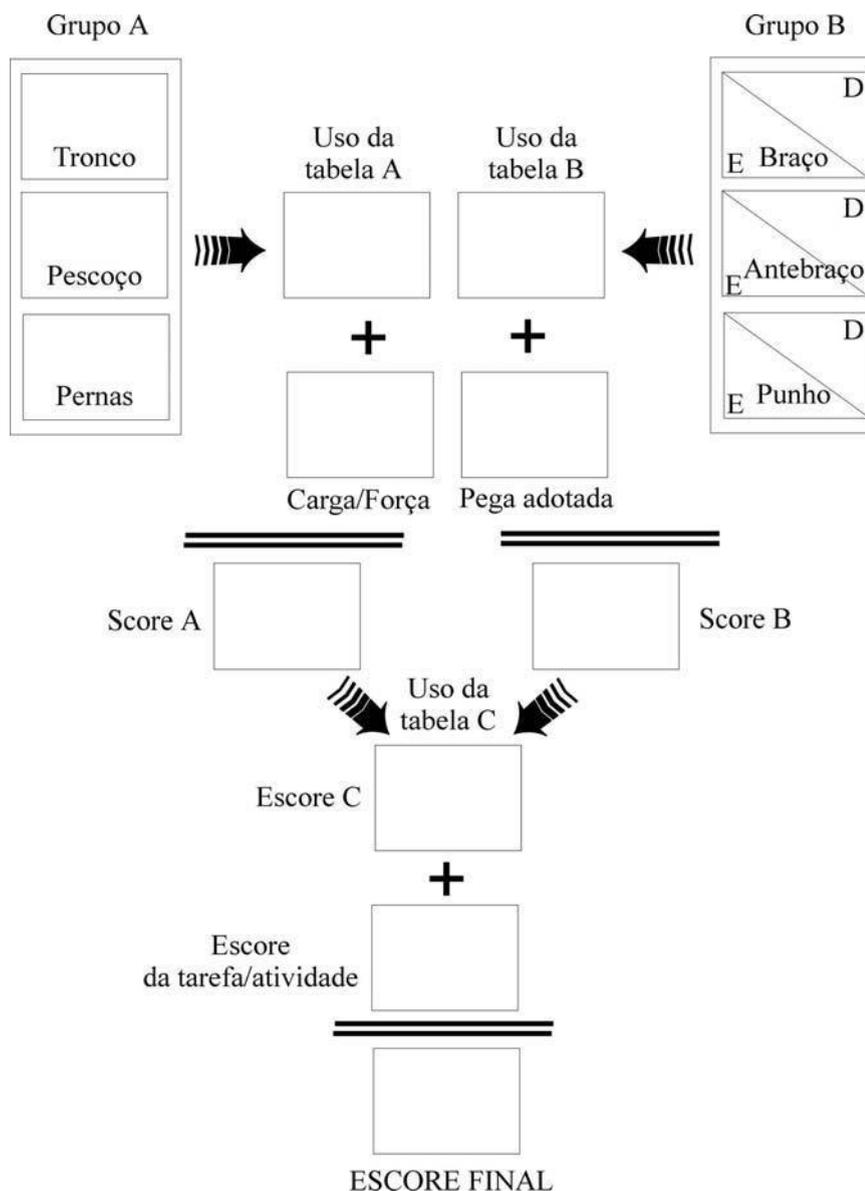
TABELA B							
Braço		Antebraço					
		1			2		
	Punho	1	2	3	1	2	3
1		1	2	2	1	2	3
2		1	2	3	2	3	4
3		3	4	5	4	5	5
4		4	5	5	5	6	7
5		6	7	8	7	8	8
6		7	8	8	8	9	9

PEGA			
0 Bom	1 Médio	2 Fraco	3 Inaceitável
Manejo adequado, sem exceder o ângulo do movimento, prensão de força	Manejo aceitável mas não ideal ou a pega é aceitável, mesmo com a ajuda de outro segmento corporal.	Manejo não aceitável	Desajeitado, pega insegura, sem as mãos A pega é inaceitável

TABELA C													
ESCORE B													
ESCORE A		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

ESCORE DA TAREFA/ATIVIDADE
+1 Quando uma ou mais regiões corporais estão estáticas por mais de 1 minuto
+1 Quando são realizadas pequenas ações repetidamente, por mais de 4 vezes por minuto (não se inclui a tarefa “caminhando”)
+1 Em ações que causam mudanças rápidas nas posturas ou quando se está numa base instável

**ANEXO H – ESQUEMA DA SOMA ENTRE OS ESCORES
REFERENTES A CADA SEGMENTO CORPORAL AVALIADO,
PARA A OBTENÇÃO DO ESCORE FINAL REBA E TABELA DE
CATEGORIAS DE AÇÕES**



CATEGORIAS DE AÇÕES - REBA			
Nível de ação	Escore REBA	Nível de risco	Ações (incluindo análises adicionais)
0	1	Nenhum	Não é necessário
1	2 a 3	Baixo	Pode ser necessário
2	4 a 7	Médio	É necessário
3	8 a 10	Elevado	É necessário logo
4	11 a 15	Muito elevado	É urgente

APÊNDICES

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

[REDACTED]

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa a atividade de esmerilhamento de trilho em uma indústria de mineração em São Luís-MA; Intervenção Ergonômica e o Uso do Exoesqueleto Passivo, que está sob a responsabilidade da pesquisadora [REDACTED] com [REDACTED], Telefone do pesquisador: [REDACTED] e e-mail para contato do pesquisador responsável: [REDACTED] (inclusive ligações a cobrar). E está sob a orientação do [REDACTED] e-mail: [REDACTED].

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe foi entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O (a) senhor (a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como foi possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Descrição da pesquisa e esclarecimento da participação: A presente pesquisa sobre a atividade de esmerilhamento de trilho em uma indústria de mineração em São Luís-MA; Intervenção Ergonômica e o Uso do Exoesqueleto Passivo, surgiu a partir da necessidade de verificar a possibilidade de implantação de um exoesqueleto para coluna lombar na atividade de esmerilhamento de trilho, tendo em vista que para realizar tal atividade, o colaborador necessita adotar uma postura

de flexão anterior do tronco. O objetivo da pesquisa é avaliar as condições de trabalho no setor de manutenção de via permanente e verificar se a utilização de um exoesqueleto passivo influencia nos fatores de riscos relacionados a carga física na atividade de esmerilhamento de trilho, visando a eficiência, a saúde e segurança dos trabalhadores de uma empresa de mineração. A partir do levantamento e mapeamento (ranking) de problemas (constrangimentos ergonômicos);

Verificação do nível de carga física entre os trabalhadores quando do uso do exoesqueleto durante a realização de suas atividades e; proposta de recomendações de melhoria. O levantamento e mapeamento dos dados ocorrerá a partir de entrevista estruturada anônima, registros fotográficos e em vídeo, das atividades (trabalho real) dos trabalhadores (oficiais de via permanente). Para mapear os movimentos e compreender as exigências físicas da atividade de esmerilhamento de trilho na via permanente foi utilizado o sistema Kinebot (www.kinebot.com.br), ferramenta computacional que através do uso de inteligência artificial identifica os ângulos entre os segmentos do trabalhador 30x/segundo (Klein et al, 2021). Para analisar o tipo de postura adotado pelo empregado foi utilizado o método REBA, o método desenvolvido por HIGNETT e MCATAMNEY em 2000. Para avaliação da força muscular isométrica da coluna lombar foi utilizado o dinamômetro dorsal, modelo Oswaldo Filizola, marca Crown®, 200 KGF. O dinamômetro é um equipamento que permite a mensuração da força aplicada em um sistema baseado em células de carga (BOHANNON, 1997). No momento da avaliação, o sujeito estará descalço, posicionado sobre a plataforma contendo uma célula de carga acoplada; com a coluna ereta mantendo os braços estendidos em frente às coxas para fazer o posicionamento correto do puxador que foi tracionado (1 cm abaixo da extremidade do dedo médio); na seqüência foi solicitado que o sujeito faça a flexão anterior de tronco, leve flexão de joelho, e segure o puxador com as mãos, foi solicitado que o mesmo faça a força máxima de tração no puxador, de forma perpendicular a plataforma, sem qualquer contato do puxador ou das mãos com qualquer outra parte do seu corpo. Para a participação como voluntário, o trabalhador foi encaminhado para avaliação médica no setor de Medicina da empresa. As coletas serão realizadas nos locais de trabalho de forma presencial. Os questionários serão aplicados a partir de um forms online. Todos os dados serão coletados individualmente. A coleta foi feita duas vezes com e sem o uso do exoesqueleto em um período de dois meses. No caso dos questionários,

os trabalhadores poderão fazer pelo celular, tablet ou computador, em caso de indisponibilidade, poderá ser feito em meio físico com papel e caneta.

- **RISCOS:** a participação nesta pesquisa não traz complicações legais. Existe a possibilidade de desconforto na região da coluna vertebral nos primeiros dias de uso. Para minimizar o risco, os empregados voluntários serão orientados quanto ao uso do exoesqueleto e acompanhados durante todo o experimento. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecerão aos preceitos éticos da Resolução 466/12 ou 510/16 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade. Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução no. 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade.
- **BENEFÍCIOS diretos/indiretos** para os voluntários: ao participar desta pesquisa a sra (sr.) não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes sobre a atividade de esmerilhamento de trilho em uma indústria de mineração em São Luís-MA; Intervenção Ergonômica e o Uso do Exoesqueleto Passivo, de forma que o conhecimento que foi construído a partir desta pesquisa possa contribuir para a saúde, segurança e qualidade de vida dos trabalhadores de uma empresa de mineração na execução da atividade de esmerilhamento de trilho na Via Permanente em uma indústria de mineração, onde pesquisador se compromete a divulgar os resultados obtidos.

Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa entrevistas, questionários, fotos e filmagens, ficarão armazenados em google drive no computador pessoal, sob a responsabilidade do [REDACTED]

[REDACTED] pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe foi pago e nem foi cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o (a) senhor (a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: **(Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br).**

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo Implantação de exoesqueleto na atividade de esmerilhamento de trilho de via permanente em uma indústria de mineração em São Luís-MA, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Impressão digital

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa

e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

APÊNDICE B – ROTEIRO DE ENTREVISTA MÓDULO ESPONTÂNEO

Entrevista para coleta de informações sobre a demanda ergonômica dos oficiais de via permanente

Módulo Espontâneo:

Fale sobre o seu trabalho. Citando aspectos gerais (positivos e negativos) relacionados à realização de suas atividades de tarefas (o entrevistador evita qualquer tipo de indução).

APÊNDICE C – ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Sobre o participante

- 1) Nome
- 2) Qual o cargo
- 3) Qual tempo de experiência no cargo
- 4) Qual sua idade
- 5) Qual a Empresa que trabalha

Sobre a Empresa

- 1) Qual o ramo de atividade da Empresa?
- 2) Quantos anos a Empresa no mercado
- 3) Qual a carga horária diária e semanal?
- 4) Quais os tipos de serviços de manutenção de via permanente são executados pela empresa?
- 5) Quais as etapas da atividade de manutenção de via permanente?
- 6) Qual o horário de trabalho do oficial de via permanente?
- 7) A Empresa trabalha em turno noturno, o oficial de via permanente realiza trabalho noturno?
- 8) Quais as atividades executadas pelos oficiais de via permanente?
- 9) Quais os produtos/equipamentos manuseados pelos oficiais de via permanente em cada atividade?
- 10) Quais as ferramentas manuseadas/operadas pelos oficiais de via permanente e são fabricadas internamente ou externamente?
- 11) A Empresa possui serviço especializado em segurança e medicina do trabalho?
- 12) A Empresa possui CIPA?
- 13) A Empresa disponibiliza plano de saúde aos empregados?
- 14) A Empresa disponibiliza treinamentos, alojamento, alimentação, medidas de prevenção de doenças e acidentes?
- 15) Qual a meta (Missão do sistema “Para que serve o sistema?”)?
- 16) Quais as restrições (Coações fixas que dificultam a implementação dos requisitos)?
- 17) Qual o(os) sistema Alimentador (Sistema que fornece as entradas para o sistema alvo)?
- 18) Qual o sistema ulterior (Sistema que fornece as entradas para o sistema alvo)?
- 19) Quais as entradas (Elementos que processados pelo sistema (matérias primas, informações, pessoas...)?
- 20) Quais as saídas (Resultados do processo realizado pelo sistema alvo (produtos, informações, serviços...)?
- 21) Quais os requisitos “O que deve ter o sistema para funcionar?”
- 22) Quais os resultados Despropositados (Incidentes, acidentes, manutenção ineficaz)?
- 23) Outras informações pertinentes ao processo e atividade de manutenção de via permanente.

APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO

QUESTIONÁRIO																
Dados do participante																
Participante:																
Idade:																
Cargo:																
Tempo de experiência no cargo:																
Diagrama das áreas dolorosas (Corlett e Manenica, 1993)																
<p>Instruções de preenchimento: O participante deve indicar com (X) na figura a parte do corpo que sente desconforto/dor, em seguida marque (X) indicando o número que corresponde com a intensidade do desconforto/dor.</p>																
<p>O diagrama apresenta um corpo humano com 27 pontos numerados (1-27) para marcar desconforto ou dor. Cada ponto possui uma escala de 1 a 5. Abaixo do diagrama, há uma escala de intensidade:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Intensidade</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nenhum desconforto/dor</td> <td>Algum desconforto/dor</td> <td>Moderado desconforto/dor</td> <td>Bastante desconforto/dor</td> <td>Intolerável desconforto/dor</td> </tr> </tbody> </table> <p>Escala progressiva de desconforto/dor</p>		Intensidade					1	2	3	4	5	Nenhum desconforto/dor	Algum desconforto/dor	Moderado desconforto/dor	Bastante desconforto/dor	Intolerável desconforto/dor
Intensidade																
1	2	3	4	5												
Nenhum desconforto/dor	Algum desconforto/dor	Moderado desconforto/dor	Bastante desconforto/dor	Intolerável desconforto/dor												

Fonte: Adaptado pela autora (2024).

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO APLICADOS AOS OFICIAIS DE VIA PERMANENTE

Questionário de validação Manutenção de Via Permanente OFICIAIS DE VIA PERMANENTE

Prezado (a) Sr (a)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa A atividade de esmerilhamento de trilho em uma indústria de mineração em São Luís-MA: Intervenção Ergonômica e o Uso do Exoesqueleto Passivo, aprovada pelo Comitê de Ética sob o número CAAE 74192523.3.0000.5208, que está sob a responsabilidade da pesquisadora [REDACTED] para o Mestrado Profissional em Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE preenchendo este questionário. As informações deste questionário são sigilosas.

A pesquisa busca proporcionar resultados em prol dos trabalhadores buscando melhoria das condições de trabalho e contribuir com a ciência no desenvolvimento de tecnologias aplicáveis, através de ferramentas e/ou novas formas de trabalho para os oficiais de via permanente.

Este questionário não é obrigatório, mas sua opinião sobre o seu trabalho É MUITO IMPORTANTE. Solicito, então, que você preencha como no quadro abaixo e marque com um X, na escala (**conforme o Exemplo de preenchimento**), a resposta que melhor representa sua opinião com relação aos diversos itens apresentados.

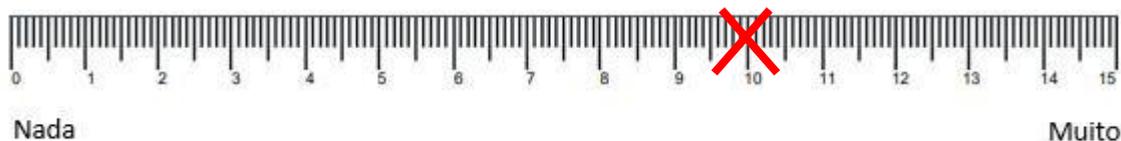
Não escreva seu nome no questionário. As informações são sigilosas e servirão para o trabalho que está sendo desenvolvido pela [REDACTED] em parceria com a UFPE.

Muito obrigada.

1. Qual é seu cargo na empresa? _____
2. Qual sua idade: _____ anos Sexo: () Feminino () Masculino
3. Qual seu peso aproximadamente? _____ kg qual sua altura? _____ m
4. Destro () Canhoto ()
5. Há quanto tempo trabalha na empresa? _____
6. Há quanto tempo trabalha neste setor? _____

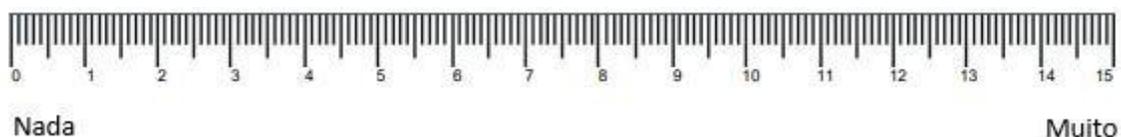
a. **Abaixo segue um modelo exemplificando o preenchimento:**

cor do fardamento

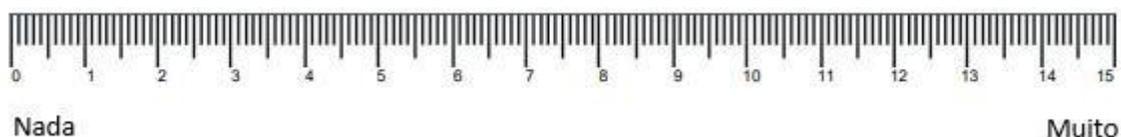


- Marque na escala qual o grau de **impacto/importância** no seu trabalho quanto às seguintes questões (“nada” ou “muito”):

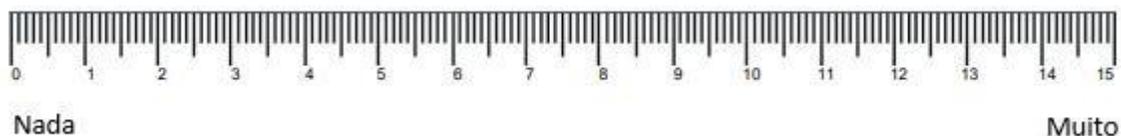
1. Temperatura no seu ambiente de trabalho



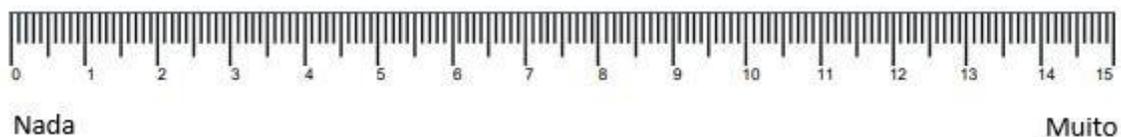
2. Ventilação no seu ambiente de trabalho



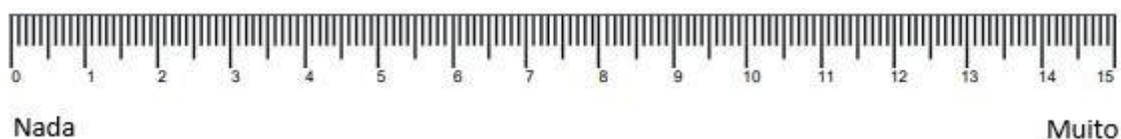
3. Ruído no seu ambiente de trabalho



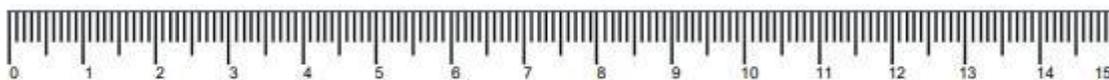
4. Iluminação no seu ambiente de trabalho



5. Tempo que fica de pé durante o trabalho na via permanente



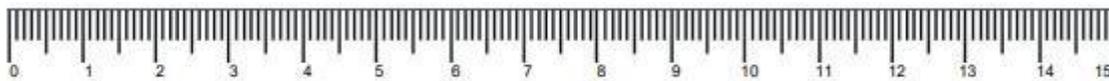
6. Postura durante a atividade de esmerilhamento de trilho



Nada

Muito

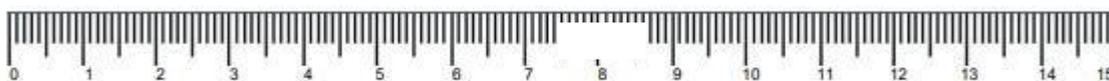
7. Carga física para realizar a atividade de esmerilhamento de trilho



Nada

Muito

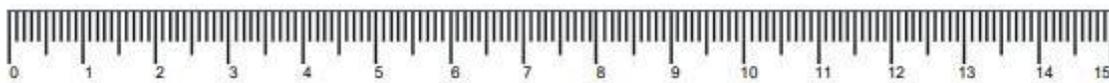
8. Posicionamento do trilho para realização da atividade de esmerilhamento de trilho



Nada

Muito

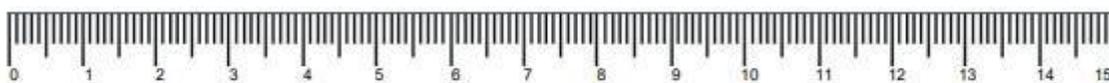
9. Local para pausa



Nada

Muito

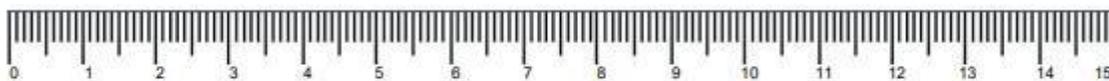
10. Qualidade dos equipamentos de AMV (MP5, emersilhadeira, retífica)



Nada

Muito

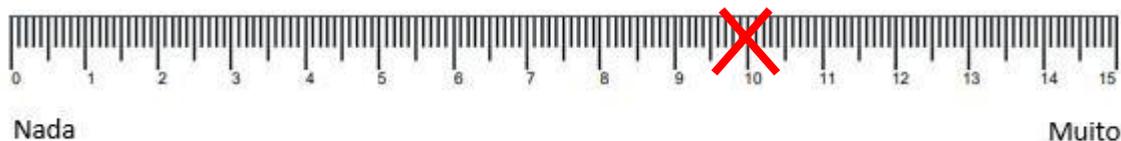
11. Quantidade de equipamentos disponíveis de AMV (lixadeira, retífica)



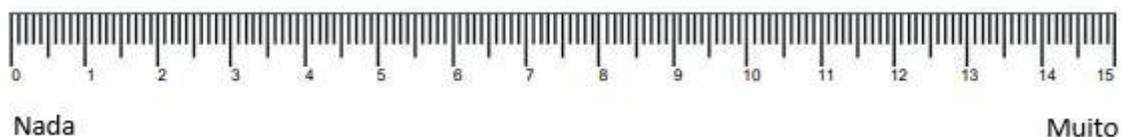
Nada

Muito

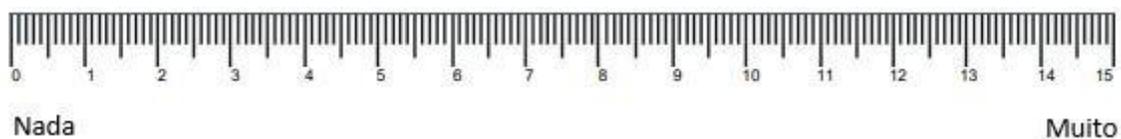
12. Horário (pausas) para refeições no trabalho



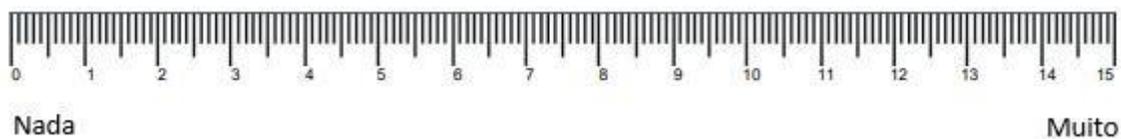
13. Carga horária de trabalho



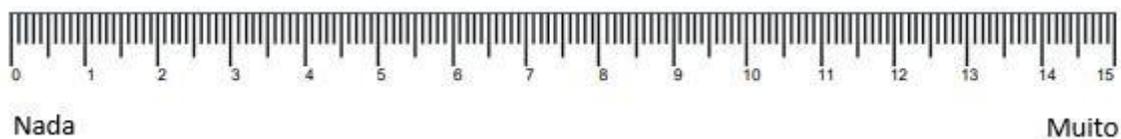
14. Flexibilidade nos horários de trabalho (folgas, intervalos)



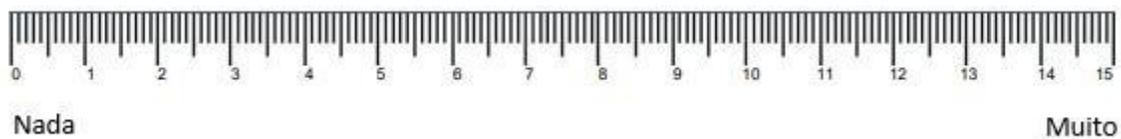
15. Ter que lidar com atividades diferentes (trabalho muito variado)



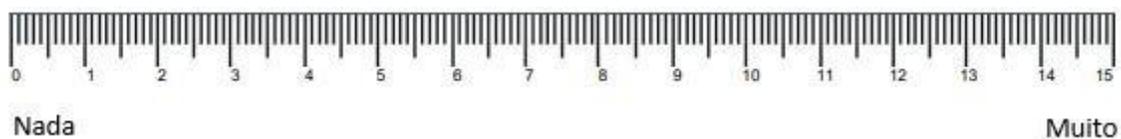
16. Integração entre os colegas de trabalho



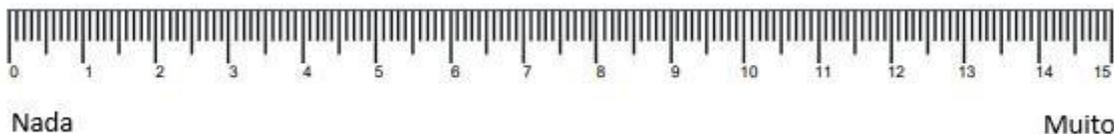
17. Respeito por parte dos supervisores



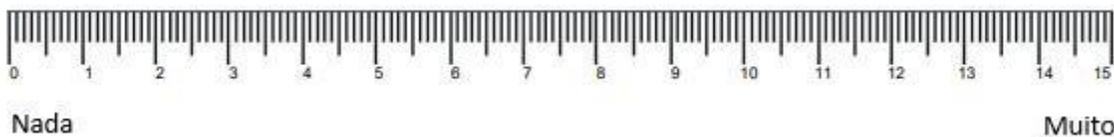
18. Respeito por parte da gerência



19. Número de funcionários disponíveis para a realização do trabalho

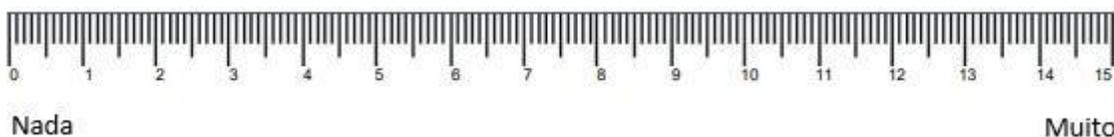


20. Trabalho em equipe

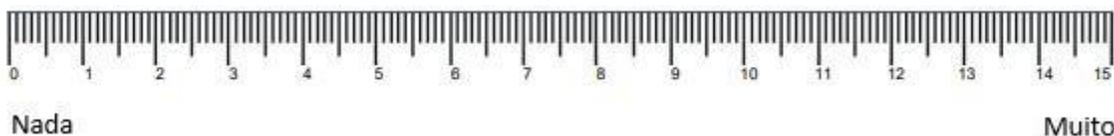


- Marque ao longo da escala abaixo a sua opinião **quanto desconforto dor em segmentos corporais (“nada” ou “muito”)**:

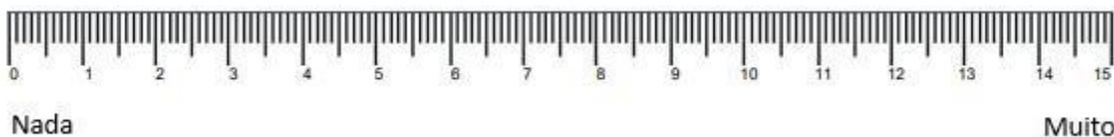
1. No seu trabalho você sente desconforto/dor nos braços?



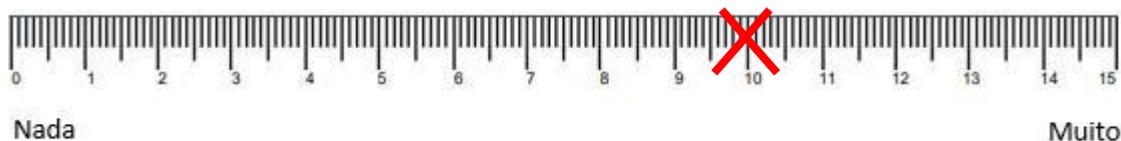
2. No seu trabalho você sente desconforto/dor nas mãos?



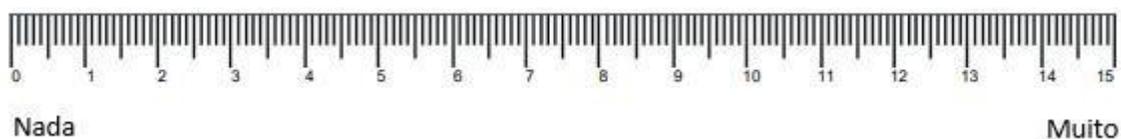
3. No seu trabalho você sente desconforto/dor nas pernas?



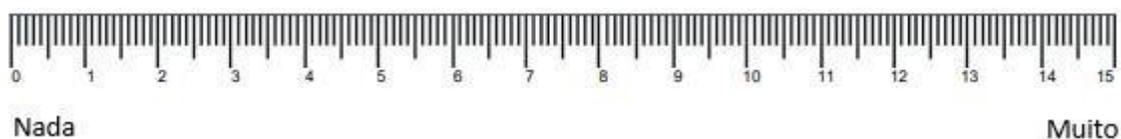
4. No seu trabalho você sente desconforto/dor nos pés?



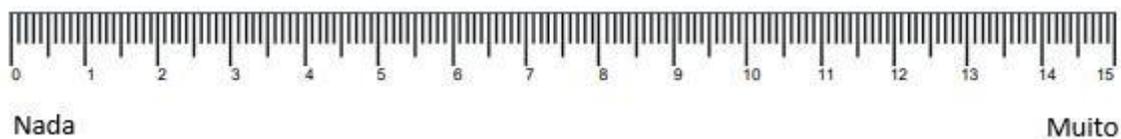
5. No seu trabalho você sente desconforto/dor nas costas?



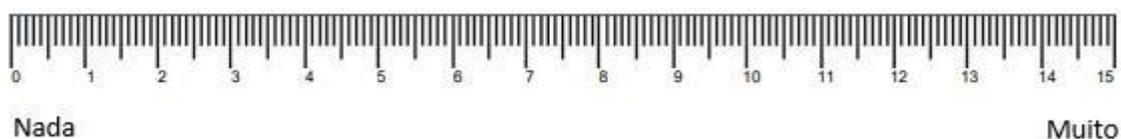
6. No seu trabalho você sente desconforto/dor no pescoço?



7. No seu trabalho você sente desconforto/dor na cabeça?

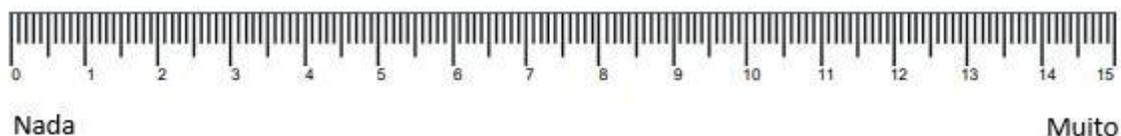


8. Ao final do dia de trabalho você se sente cansado?

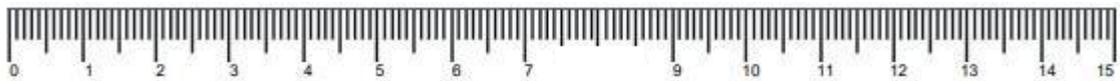


- Marque ao longo da escala abaixo a sua opinião sobre **conteúdo do trabalho** se você considera (“nada” ou “muito”):

1. Quanto de carga física é exigido no seu trabalho?



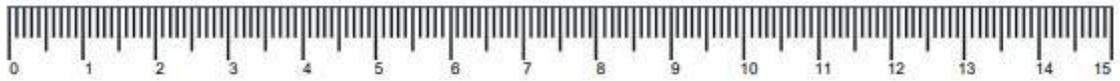
2. Quanto de esforço mental é exigido no seu trabalho?



Nada

Muito

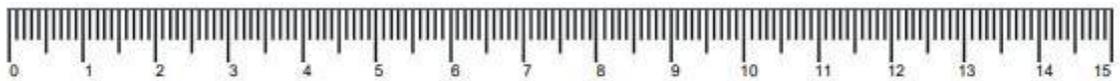
3. Seu trabalho é monótono?



Nada

Muito

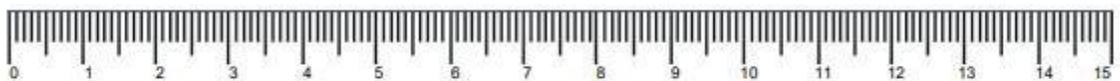
4. O seu trabalho é limitado?



Nada

Muito

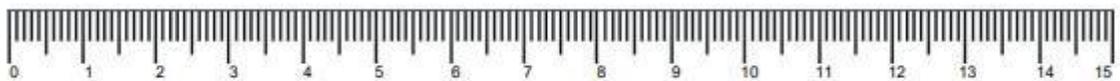
5. O seu trabalho é dinâmico?



Nada

Muito

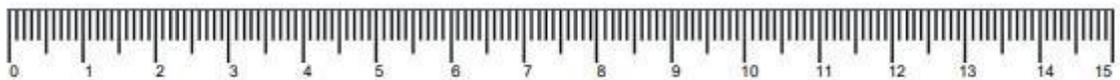
6. O seu trabalho é estimulante?



Nada

Muito

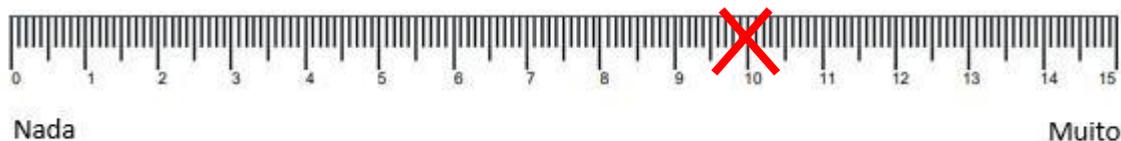
7. O seu trabalho envolve responsabilidade?



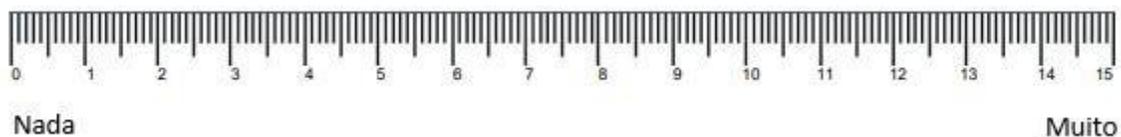
Nada

Muito

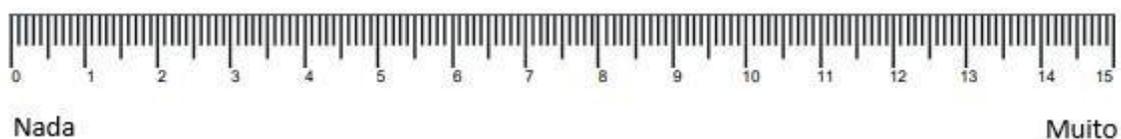
8. O seu trabalho faz você se sentir valorizado?



9. Você sente pressão psicológica por parte da chefia?

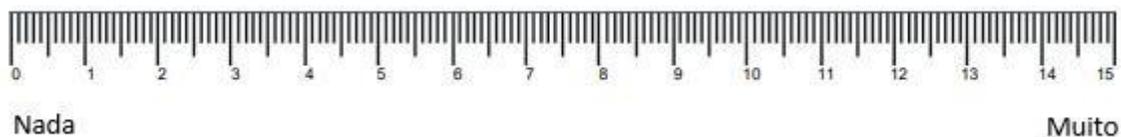


10. Você sente autonomia na realização do seu trabalho?

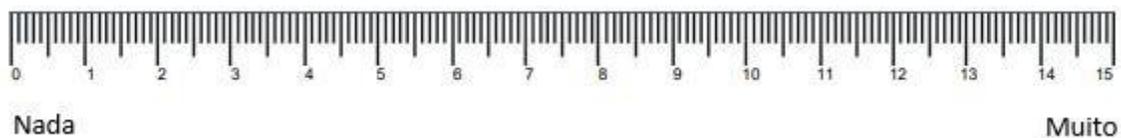


Marque ao longo da escala abaixo a sua opinião sobre o nível de *impacto* que as questões abaixo trazem para o seu trabalho (“nada” ou “muito”)

1. Você acha que seu trabalho envolve risco de segurança?



2. Grau de riscos de acidentes (equipamentos pesados; fagulhas)



APÊNDICE F - EXEMPLO DO PROTOCOLO DE REGISTRO DAS ATIVIDADES DAS TAREFAS DOS OFICIAIS DE VIA PERMANENTE PARA A PADRONIZAÇÃO DA COLETA DE DADOS DURANTE A FASE DE DIAGNOSE ERGONÔMICA DA PRESENTE PESQUISA.

i. REGISTRO DE TAREFAS

Manutenção de Via Permanente

Esmerilhamento do aparelho de mudança de via (AMV)

➤ Dados gerais

Colaborador	
--------------------	--

Atividade	
------------------	--

➤ **Questões que podem influenciar no experimento**

Desde que horas está acordado?	
Realizou algum esmerilhamento até agora?	
Faz uso de alguma medicação?	
Histórico progresso de patologia na coluna vertebral?	
Pratica esportes? Com que frequência?	

➤ Quadros de registro dos dados

Parâmetro	Início	Fim

OBS	

