

INCORPORANDO A DINÂMICA DE SISTEMAS A ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA CALÇADISTA

INCORPORATING SYSTEM DYNAMICS INTO WORK ERGONOMIC ANALYSIS: A CASE STUDY IN THE FOOTWEAR INDUSTRY

Ruan Eduardo Carneiro Lucas¹

Eugenio Merino²

Giselle Schmidt Alves Díaz Merino³

José Flávio Rique Júnior⁴

Resumo

Demanda-se análises ergonômicas que disponibilizem uma compreensão mais ampla da relação entre as variáveis, para que o diagnóstico seja mais eficiente. Assim, objetivou-se desenvolver uma Análise Ergonômica do Trabalho (AET) e, a partir disso, estruturar um Diagrama de Enlace Causal (DEC) para analisar as condições laborais em uma indústria calçadista. A metodologia foi alicerçada nas etapas da AET e, posteriormente, integrou-se o DEC. Foram identificados cinco loops (ciclos fechados de causa e efeito), sendo dois deles mais importantes: Influência da carga de trabalho na sobrecarga física e Influência dos movimentos na recuperação física. Concluiu-se que a integração do DEC ampliou a capacidade analítica e deu mais subsídios informacionais para otimização das condições identificadas.

Keywords: Análise Ergonômica do Trabalho. AET. Dinâmica de Sistemas. Diagrama de Enlace Causal. Indústria calçadista.

Abstract

Ergonomic analyses require a broader understanding of the interplay between various factors to ensure more efficient diagnostics. This study aimed to develop a Work Ergonomic Analysis (WEA) and, from there, to construct a Causal Loop Diagram (CLD) to examine the working conditions in the footwear industry. The methodology was based on the stages of WEA and subsequently integrated the CLD. Five loops (closed cycles of cause and effect) were identified, with two being particularly significant: the Influence of Workload on Physical Overload and the Influence of Movements on Physical Recovery. It was concluded that integrating the CLD enhanced the analytical capacity and provided more informational support for optimizing the identified conditions.

Palavras-chave: Ergonomic Work Analysis. EWA. System Dynamics. Causal Loop Diagram. Footwear Industry.

¹ ruaneduardo94@gmail.com

² eugenio.merino@ufsc.br

³ gisellemerino@gmail.com

⁴ flaviodinoa@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O termo indústria calçadista refere-se ao setor constituído de empresas com foco principal na produção de calçados. No Brasil, ele apresenta reconhecida relevância econômica, pois representa 4% do Produto Interno Bruto (PIB) da Indústria de Transformação Brasileira (Abicalçados, 2024). A nível mundial é o 5º maior produtor do mundo, sendo o maior depois da Ásia (Abicalçados, 2024).

Os processos produtivos nessas empresas são predominantemente alicerçados nos princípios da administração científica de Frederick Taylor, em que as atividades são fragmentadas em tarefas menores, com alta padronização, tempo padrão de operação bem definido e produção em larga escala (Guimarães et al., 2012).

O trabalho realizado também possui características bem estabelecidas: (i) a produção normalmente é estruturada em lotes produtivos; (ii) os colaboradores são responsáveis por atividades específicas, que geralmente apresentam ciclos produtivos curtos, e; (iii) as altas metas produtivas devem ser obrigatoriamente atendidas (Colaço, 2013; Guimarães et al., 2014; Silva, 2020). Além disso, apresenta atividades que demandam aplicação de força e, em alguns casos, realização de posturas não naturais (Lucas, 2022).

Assim, as condições laborais caracterizam-se por apresentar: tarefas repetitivas; ciclos produtivos curtos; ritmo acelerado; longa jornada de trabalho; uso extensivo da mão de obra; atividades manuais; recorrentes horas-extras; elevado índice de turnover, e; baixa rotatividade das tarefas (Guimarães; Anzanello; Renner, 2012; Mascuro, 2017; Zingano; Oliveira, 2014).

O contexto laboral existente resulta em um setor com reconhecida prevalência de problemas ergonômicos (Roquelaure et al., 2002; Silva et al., 2020). Eles resultam em alta incidência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT), que comprometem a saúde, bem-estar e produtividade dos profissionais (Dianat et al., 2015; Guimarães; Ribeiro; Renner, 2012; Leite et al., 2021; Silva et al., 2020).

Ante esses reconhecidos problemas, recorrentemente análises ergonômicas são realizadas. Métodos como a Análise Ergonômica do Trabalho (AET), proveniente da escola francesa de ergonomia, são utilizados e disponibilizam um efetivo diagnóstico das condições laborais (Arias et al., 2022). Entretanto, existe uma demanda atual por métodos e análises que evidenciem uma compreensão mais ampla da relação entre as variáveis, para que o diagnóstico ergonômico seja mais eficiente (Lucas et al., 2023).

Com isso, a Dinâmica de Sistemas (DS) passou a ser integrada às análises ergonômicas, pois permite evidenciar os ciclos de realimentação - que refletem o impacto da ação de um elemento nos outros - para analisar o comportamento do sistema como um todo (Farid; Purdy; Neumann, 2020; Mattos et al., 2022; Lucas et al., 2023).

Ante esse cenário, a problemática central deste artigo consiste em compreender como a integração do Diagrama de Enlace Causal (DEC), que é a vertente gráfica e qualitativa da DS, impacta na capacidade analítica de uma análise ergonômica. Para isso, o objetivo geral é desenvolver uma AET e, a partir disso, estruturar o DEC para analisar as condições laborais em uma célula produtiva da indústria calçadista.

Cientificamente, o trabalho contribui porque mostra como uma perspectiva sistêmica das variáveis impacta no escopo do diagnóstico ergonômico. Paralelamente, apresenta como métodos computacionais podem auxiliar nas análises realizadas na indústria calçadista. Do ponto de vista prático, a amplitude na visualização das variáveis torna

possível identificar relações de causalidade que podem estar presentes em empresas fabricantes de calçados e precisam ser mitigadas.

Estruturalmente, este artigo organiza-se em outras cinco seções, além desta primeira. A segunda apresenta a fundamentação teórica. A terceira os aspectos metodológicos. A quarta os resultados, enquanto a quinta e sexta apresentam, respectivamente, discussão e conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se os aspectos teóricos relacionados à Análise Ergonômica do Trabalho (AET) e a Dinâmica de Sistemas (DS).

2.1 Análise Ergonômica do Trabalho (AET)

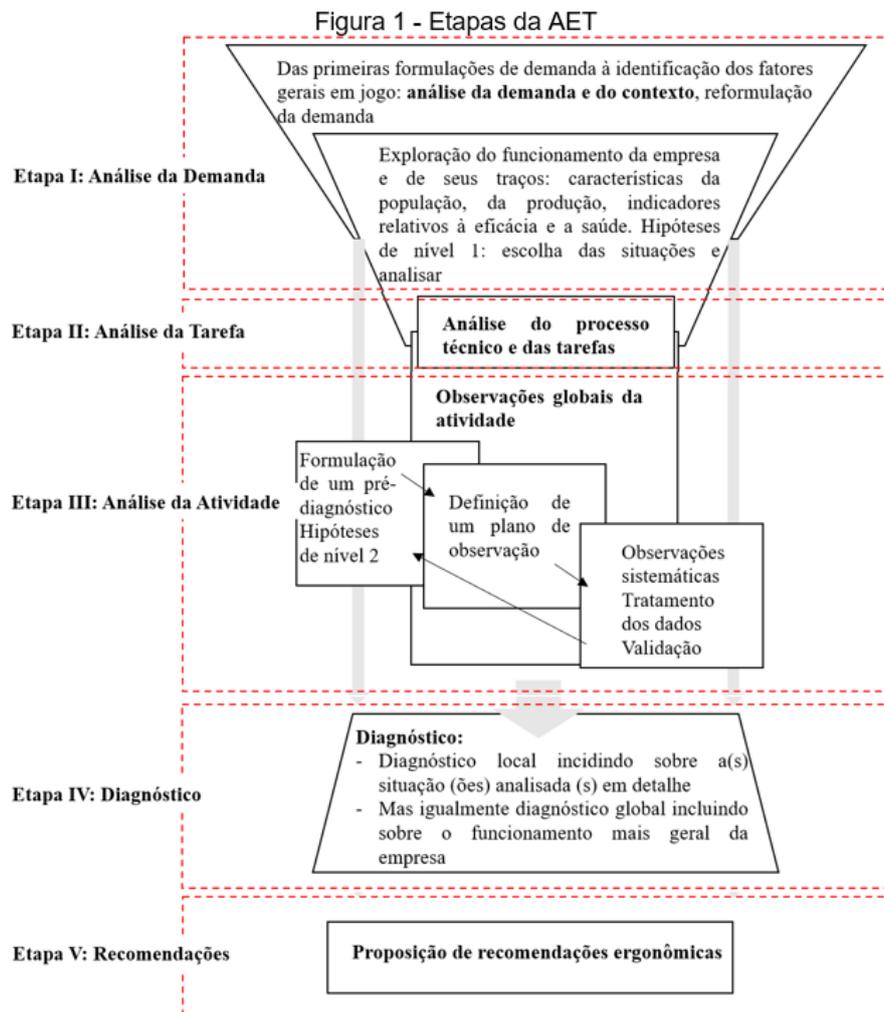
A AET é um método estruturado de natureza global e sistêmica para análise ergonômica das atividades desenvolvidas nas organizações (Másculo; Vidal, 2011). Proveniente da escola francesa de ergonomia, a principal característica é a ênfase nas situações reais, principalmente nas ações desempenhas pelos operadores no dia a dia das organizações (Wisner, 1995).

Uma característica importante é a diferenciação entre tarefa e atividade. A tarefa refere-se ao trabalho prescrito ou, especificamente, o que é esperado que um indivíduo desempenhe dentro de um sistema produtivo; enquanto a atividade refere-se ao trabalho real ou, especificamente, a forma como efetivamente um indivíduo desempenha suas tarefas cotidianamente (Guérin, 2001; Ferreira, 2015).

Nos ambientes laborais existe uma discrepância entre o trabalho prescrito (tarefa) e o trabalho real (atividade), que acontece por fatores como: percepções diferenciadas entre os indivíduos; experiência na função; as próprias estratégias adotadas para satisfazer as demandas do trabalho, e; percepções de risco (Bedin; Fontes; Braatz, 2020; Guérin, 2001; Wisner, 1995; Másculo; Vidal, 2011). Nessa discrepância, entre o que é solicitado e como de fato é feito, é que a AET busca desenvolver suas análises (Guérin, 2001).

Ela subdivide-se em cinco etapas: (i) análise da demanda; (ii) análise da tarefa; (iii) análise da atividade; (iv) diagnóstico, e; (v) recomendações ergonômicas (Guérin, 2001). As recomendações podem ser apresentadas como a quinta etapa desse método, ou podem ser apresentadas na quarta etapa em associação com o diagnóstico (Guérin, 2001). Nesta pesquisa serão assumidas cinco etapas (Figura 1), que serão descritas a seguir.

Figura 1 - Etapas da AET



Fonte: Adaptado de Guérin (2001)

A primeira etapa é a análise da demanda. Segundo Másculo e Vidal (2011), trata-se de uma etapa mais holística, em que é definida a problemática principal de análise. Guérin (2001) explana que nessa etapa devem ser estabelecidas as demandas ergonômicas, desenvolvida uma contextualização do funcionamento da empresa e, a partir disso, definidas as Hipóteses de nível 1, que se referem às situações que serão analisadas.

A segunda etapa é a análise da tarefa. Segundo Másculo e Vidal (2011), o foco dessa etapa é na concepção teórica do trabalho, que é chamado de trabalho prescrito e reflete a maneira como o trabalho deve ser executado. Essa definição é feita pela empresa e abrange as condições laborais oferecidas, incluindo, por exemplo, as normas operatórias, os modos de operação, os turnos de trabalho, o tempo estipulado de cada operação, as metas produtivas que devem ser alcançadas, o maquinário necessário para a operação e as formas de utilização, assim como as ferramentas necessárias e as formas de utilização.

A terceira etapa é a análise da atividade, que tem ênfase no trabalho efetivamente realizado pelos indivíduos, abrangendo as atividades físicas e mentais (Ferreira; Righi, 2009; Másculo; Vidal, 2011). Segundo Wisner (1995), nessa etapa deve ser realizada uma análise minuciosa do comportamento real dos trabalhadores, abarcando, por exemplo,

a utilização de máquinas e equipamentos, análise dos tempos e movimentos realizados, o processo necessário para o fluxo informacional e o processo de comunicação.

A quarta etapa é o desenvolvimento de um diagnóstico, que, segundo Guérin (2001), trata-se de um produto essencial das análises desenvolvidas pelos ergonomistas. Nessa etapa devem ser apontados os principais fatores a serem considerados para transformação do trabalho, que surgem a partir das informações identificadas nas etapas anteriores da AET (análise da demanda, análise da tarefa e análise da atividade) (Guérin, 2001).

A construção desse diagnóstico deve partir da confrontação da tarefa (trabalho prescrito) com a atividade (trabalho real), pois, assim, torna-se possível identificar os aspectos que estão dentro da normalidade e, em paralelo, potenciais discrepâncias existentes, como, por exemplo: inadequações físicas do posto de trabalho (por exemplo, máquinas e variáveis ambientais); inadequações cognitivas (por exemplo, dificuldade de raciocinar e tomar decisões); inadequações organizacionais (por exemplo, repetitividade da tarefa e metas produtivas elevadas), e; posturas e movimentos inadequados (Ferreira; Righi, 2009; Másculo; Vidal, 2011).

A partir do diagnóstico é formulado o caderno de recomendações ergonômicas (Etapa V), que pode abranger, por exemplo, os seguintes aspectos: condições técnicas para execução do trabalho; condições ambientais em que a atividade ocorre, e; condições organizacionais do trabalho (Guérin, 2001; Ferreira; Righi, 2009). Segundo Wisner (1995), como essa fase é diretamente dependente do diagnóstico (Etapa IV), ela pode ser tanto simples e objetiva, como pode ser mais complexa e demandar o suporte de profissionais de outras áreas (por exemplo, fisioterapeutas e projetistas estruturais).

Para que os resultados obtidos a partir da AET sejam efetivamente implementados, torna-se necessário que as empresas e os ergonomistas acompanhem e monitorem as modificações sugeridas e implementadas. Em decorrência disso, a quinta etapa também abrange o acompanhamento e monitoramento das recomendações sugeridas (Guérin, 2001).

2.1 Dinâmica de Sistemas (DS)

A Dinâmica de Sistemas (DS), que foi desenvolvida por Jay Forrester no Massachusetts Institute of Technology (MIT) na década de 1950, é um método utilizado para desenvolver e testar modelagens acerca de sistemas dinâmicos complexos (Stearman, 2000). Segundo Coyle (1996), trata-se de um método que auxilia na compreensão da dinâmica (não linearidade) e, principalmente, no gerenciamento de sistemas complexos ao longo do tempo.

O comportamento complexo desses sistemas é mais decorrente das interações entre os elementos que o constituem, do que da complexidade inerente a cada um deles (Stearman, 2000). Esse processo interacional dentro dos sistemas decorre da causalidade, que é caracterizada pelo impacto concomitante da alteração de um elemento nos outros.

As interações entre os elementos também originam os ciclos de realimentação (também chamados de *feedbacks* ou enlace), que são compreendidos como ciclos fechados de causa e efeito (Coyle, 1996). O *feedback* (ou ciclo de realimentação) configura-se como um dos conceitos centrais do método (Stearman, 2000). Também chamado de loop, subdivide-se em dois tipos: loop de reforço (R), que ocorre quando o ciclo de

realimentação proporciona uma amplificação do estado do sistema, e; loop de balanço (B), que ocorre quando o ciclo de realimentação não amplifica o estado do sistema (Coyle, 1996).

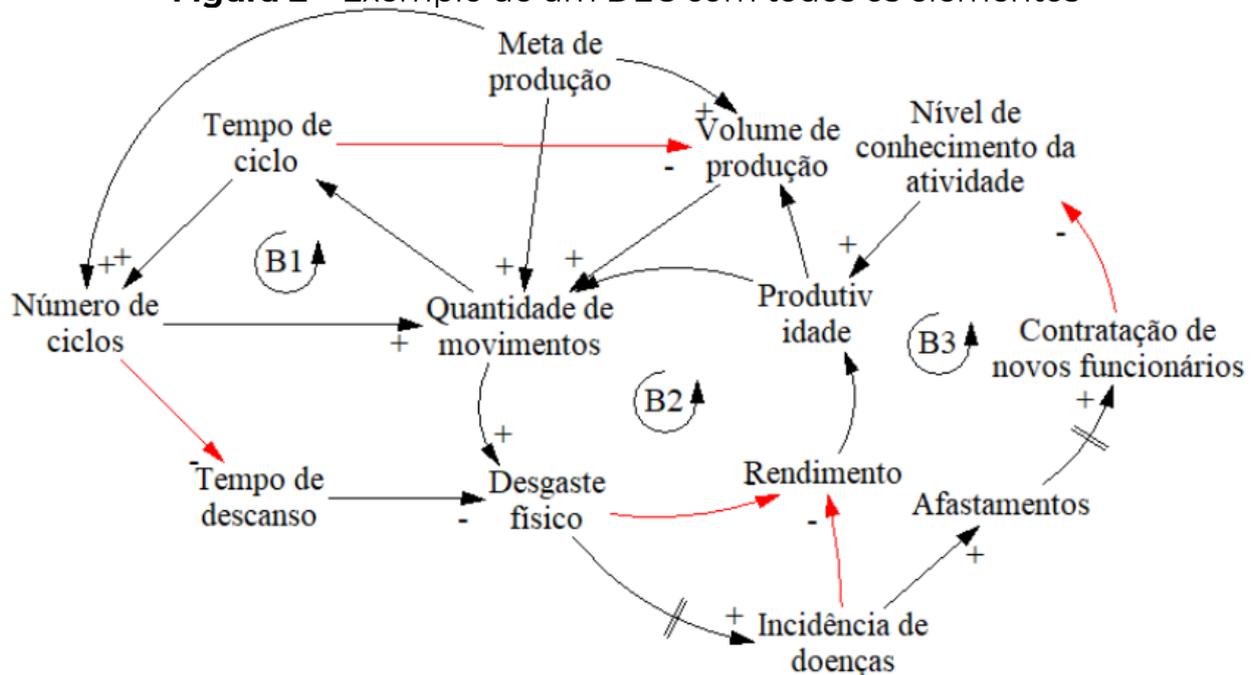
A aplicação da DS concentra-se, prioritariamente, nas seguintes atividades: (i) definição do problema e das variáveis envolvidas no sistema; (ii) construção de um diagrama de enlace causal (diagrama de loop causal); (iii) construção de um modelo quantitativo a partir do diagrama de fluxos e estoques; (iv) análise da consistência do modelo, e; (vi) análise de sensibilidade, que consiste na compreensão do comportamento do modelo mediante alterações nas variáveis existentes.

Nesta pesquisa, o foco é no Diagrama de Enlace Causal (DEC), também chamado de Diagrama de Loop Causal (DLC), que são estruturas gráficas (mapas) que mostram as ligações causais (causa e efeito) entre as variáveis envolvidas em um sistema (Coyle, 1996; Stearman, 2000). Como esses mapas possibilitam a representação dos ciclos de realimentação, eles também auxiliam na construção de hipóteses acerca do comportamento dinâmico dos sistemas (Shin et al., 2014).

As variáveis que se relacionam são conectadas mediante setas, que partem de uma causa (cauda da seta) para um efeito (cabeça da seta) (Stearman, 2000). A existência de um sinal positivo (+) significa que: quando a variável na cauda da seta muda, a variável na cabeça da seta sempre muda na mesma direção. Por outro lado, a existência de um sinal negativo (-) significa que: quando a variável da cauda muda, a variável na cabeça da seta muda na direção contrária (Stearman, 2000).

Os ciclos de realimentação (ou feedback) também são apresentados no DEC. Os loops positivos (loops de reforço), que reforçam ou amplificam o sistema, são representados pela letra R, enquanto os loops negativos (loops de balanço), que não amplificam o estado do sistema, são representados pela letra B. A Figura 2 exemplifica essa estrutura gráfica.

Figura 2 – Exemplo de um DEC com todos os elementos



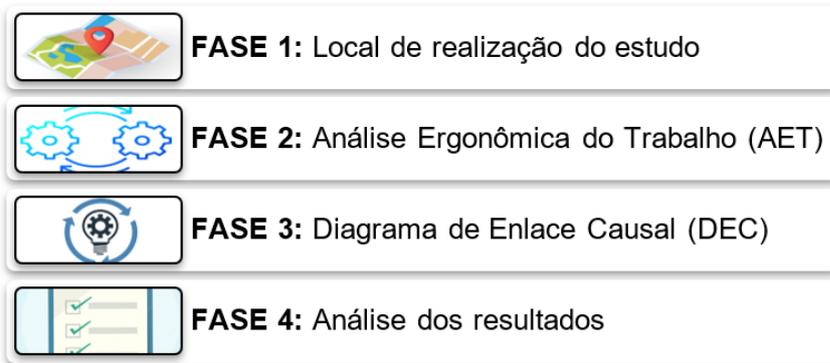
Fonte: Lucas et al. (2020)

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa apresenta natureza aplicada, pois disponibiliza informações que podem auxiliar na otimização das condições laborais analisadas. Com relação ao seu objetivo, trata-se de um estudo exploratório e descritivo, pois apresenta as condições ergonômicas existentes e explicita como a inclusão de uma nova ferramenta pode ampliar a capacidade analítica. Para abordagem do problema foi utilizado um método quali-quantitativo. Por fim, em termos de procedimentos técnicos, enquadrou-se como um estudo de caso.

De maneira geral, conforme mostra a Figura 3, o desenvolvimento subdividiu-se em quatro fases, que serão apresentadas nos tópicos subsequentes.

Figura 3 – Fases gerais para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

3.1 Definição do local de realização do estudo

A empresa foi escolhida com base seguintes critérios: (i) o foco produtivo deveria ser a fabricação de calçados, haja vista os reconhecidos problemas ergonômicos na indústria calçadista; (ii) localização em uma região geográfica onde a fabricação de calçados apresenta impacto na economia nacional, e; (iii) por conveniência, haja vista a facilidade de contato do pesquisador para obtenção de dados. Definiu-se, assim, uma empresa de grande porte localizada no nordeste do Brasil.

Posteriormente, escolheu-se um setor da empresa para realização do estudo de caso. Essa escolha foi pautada nos seguintes aspectos: (i) incidência de solicitações de afastamento decorrentes de doenças ocupacionais, e; (ii) ocorrências registradas no ambulatório médico da empresa decorrentes de doenças ocupacionais.

A partir disso foi analisada uma célula produtiva do setor (Célula A), escolhida com base nos seguintes critérios: características do sistema produtivo (por exemplo: tipo de calçado produzido, meta de produção e etapas processuais), e; disponibilidade de dados.

3.2 Análise Ergonômica do Trabalho (AET)

Essa fase da pesquisa seguiu as etapas presentes no método da Análise Ergonômica do Trabalho (AET). Realizou-se inicialmente a Análise da Demanda (AD), que teve como objetivo apresentar a problemática principal que demandou a análise. Assim, foi apresentada a célula produtiva e a justificativa para sua escolha.

O desenvolvimento dessa etapa foi feito a partir da análise dos dados de saúde da empresa, especificamente planilhas com informações sobre as ocorrências registradas no ambulatório médico e das solicitações de afastamentos ao longo do período de três anos.

A Etapa II iniciou-se com a Análise da Tarefa (AT). Os documentos obtidos possibilitaram identificar: (i) o turno de trabalho; (ii) a meta produtiva projetada; (iii) condições ambientais projetadas (por exemplo: temperatura, ventilação e ruído); (iv) atividades a serem desempenhadas; (v) forma como as atividades deveriam ser desempenhadas (posturas requeridas, trabalho estático requerido, trabalho dinâmico requerido); (vi) prescrição da aplicação de força ou precisão para o desempenho das atividades, e; (vii) existência de uma predefinição de rotatividade das tarefas.

A Etapa III teve início com a Análise da Atividade (AA). Inicialmente foi realizado um levantamento descritivo acerca dos colaboradores alocados na célula, que abrangeu a atividade realizada, gênero, idade, altura e tempo de trabalho na empresa. A partir disso, foi estruturado graficamente o arranjo físico no software SketchUp.

Posteriormente foram analisados os seguintes aspectos produtivos: (i) carga horária de trabalho efetiva; (ii) tempo de atravessamento (lead time); (iii) tempo de ciclo de cada atividade; (iv) meta de produção; (v) ritmo de produção (takt time); (vi) existência de trabalhadores monofuncionais e multifuncionais; (vii) rotatividade das tarefas; e; (viii) alcance das metas produtivas (eficácia). Para obtenção dessas informações, foram obtidos dados da empresa referentes ao acompanhamento produtivo.

Em seguida foram analisados aspectos biomecânicos para desenvolvimento das atividades. A partir dos dados da empresa foram identificados os seguintes trabalhos corporais dinâmicos: (i) movimento da região cervical; (ii) movimento dos ombros; (iii) movimento dos braços; (iv) movimento do cotovelo; (ii) movimento do pulso; (iii) movimentos das mãos; (iv) movimentos dos dedos; (v) movimentos de pega, e; (vi) combinação dos movimentos realizados pelos ombros, braços, mãos, pulsos, pega e dedos.

Também foram identificados os trabalhos estáticos realizados pelos indivíduos para realização das atividades e as incompatibilidades antropométricas. Por fim, foram investigados os seguintes aspectos: (i) necessidade de força para execução da atividade; (ii) necessidade de precisão; (iii) movimentos bruscos; (iv) existência de impactos na execução das tarefas; (v) abrangência das atividades repetitivas ao longo do turno, e; (vi) tempo estimado para recuperação física ao longo do turno.

A partir das informações biomecânicas foram aplicados os seguintes métodos: Ovaco Working Posture Analysing (OWAS); Rapid Upper Limb Assessment (RULA), e; Occupational Repetitive Actions (OCRA). Esses métodos foram utilizados para gerar uma avaliação mais precisa acerca dos fatores biomecânicos envolvidos. Para complementar essa análise, foram coletados dados do Diagrama de Corlett para identificar as regiões corporais que os colaboradores apresentavam desconfortos físicos.

Também foi identificado se a empresa disponibilizava práticas de Ginástica Laboral (GL). Foram analisados o número de dias que os colaboradores faziam e a percepção deles quanto aos benefícios dessas práticas. Assim, levantou-se a percepção dos colaboradores quanto ao alívio nos desconfortos osteomusculares, existência de maior disposição para as práticas diárias e potencial melhora no bem-estar para desempenho das atividades.

Em seguida foram analisados os aspectos relacionados à incidência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT): o número de afastamentos e os respectivos dias de ausência, e; as ocorrências registradas pelos trabalhadores no ambulatório médico da empresa. Para isso, foram analisados os dados de saúde disponibilizados pela empresa.

Por último, utilizou-se o V-quadrado de Cramer para realizar uma análise relacional entre as variáveis pessoais (gênero, idade, altura e tempo de trabalho na empresa) e os desconfortos físicos apontados pelos colaboradores no Diagrama de Corlett. Essa análise foi feita para identificar se as variáveis inerentes a cada colaborador poderiam influenciar na incidência de potenciais distúrbios osteomusculares.

A Figura 4 apresenta uma síntese metodológica das informações obtidas. A partir delas, estruturou-se o Diagnóstico Ergonômico (DE), que teve como objetivo identificar como as variáveis existentes se relacionavam no sistema produtivo sob a ótica qualitativa e, principalmente, como esse relacionamento culminava em problemas ergonômicos.

Figura 4 – Síntese metodológica das informações obtidas

Passo 1: Levantamento descritivo dos colaboradores

- Identificou-se atividade realizada, gênero, idade, altura e tempo de trabalho na empresa. A partir disso, foi estruturado graficamente o arranjo físico da célula no software SketchUp .

Passo 2: Aspectos produtivos

- A partir dos dados da empresa e análises observacionais foram analisadas as seguintes informações: (i) carga horária de trabalho efetiva; (ii) tempo de atravessamento (lead time); (iii) tempo de ciclo de cada atividade; (iv) meta de produção; (v) ritmo de produção (takt time); (vi) existência de trabalhadores monofuncionais e multifuncionais; (vii) rotatividade das tarefas; e; (viii) metas.

Passo 3: Aspectos biomecânicos

- Foram analisados os seguintes movimentos: cervical; ombros; braços; cotovelo punho; mãos, pegas; dedos, e; combinação entre os movimentos.
- Foi analisada a necessidade de força, precisão, movimentos bruscos e potenciais impactos na execução das tarefas.
- Foi analisada abrangência das atividades repetitivas ao longo do turno, e; o tempo estimado para recuperação física ao longo do turno.
- Foi aplicado o OWAS, RULA, OCRA e Diagrama de Corlett.
- Práticas de Ginástica Laboral e a percepção dos colaboradores
- Análise da incidência dos DORTs

Passo 4: Análise relacional

- Utilizou-se o V-quadrado de Cramer para realizar uma análise relacional entre as variáveis pessoais (gênero, idade, altura e tempo de trabalho na empresa) e os desconfortos físicos apontados pelos colaboradores (Diagrama de Corlett).

Passo 5: Identificação das relações causais

- Utilizou-se o software Vensim para construção do DEC, 3 que mostrou

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

3.3 Diagrama de Enlace Causal e análise dos resultados

A partir das informações da AET e, principalmente, do Diagnóstico Ergonômico (DE), estruturou-se o Diagrama de Enlace Causal (DEC). Desenvolvido no software Vensim, ele disponibilizou uma representação gráfica das relações causais entre as variáveis envolvidas no sistema produtivo, possibilitando uma visão holística das interações existentes.

De posse das informações da AET e do DEC, analisou-se os resultados obtidos e identificou-se como uma visão sistêmica das variáveis impactava na capacidade analítica acerca das condições laborais.

4. RESULTADOS

Os resultados foram estruturados seguindo as etapas da AET. Após isso, apresenta-se a estrutura gráfica disponibilizada pelo DEC.

4.1 Análise da demanda

A Análise da Demanda (AD) partiu da seguinte hipótese inicial: os distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT), que impactam diretamente na saúde e bem-estar dos colaboradores, resultam em ocorrências no ambulatório médico da empresa e solicitações de afastamento, além de indiretamente influenciar no desempenho da célula produtiva.

Partindo dessa hipótese, foram identificadas $n=6387$ ocorrências no ambulatório médico da empresa, sendo a categoria Dor e Relacionadas com o Movimento (DRM) como a causa mais registrada ($n=4125$; 61,5%) e o setor de Corte, Montagem e Acabamento (CMA) com o maior número de registros ($n=2832$; 42,2%).

Também foram identificadas $n=1272$ solicitações de afastamento em decorrência de doenças ocupacionais. O setor CMA apresentou o maior número de registros ($n=523$; 41,1%) e teve colaboradores afastados por 3647 dias. Nesse setor, os distúrbios osteomusculares foram as principais causas desses afastamentos ($n=440$; 84%), resultando em colaboradores afastados por 2725 dias. A partir disso, foi definida uma célula desse setor para análise.

4.2 Análise da tarefa

A Célula A era uma unidade de produção responsável pela fabricação completa de um único calçado. Estava projetada para operar no segundo turno, das 14:00 às 22:26 horas, com uma hora diária para refeição e meta projetada de 600 pares de calçados por dia. Além disso, quando demandado e solicitado pela liderança poderiam ser realizadas horas extras, a fim de atingir os objetivos organizacionais.

Com relação às variáveis físicas do ambiente, no que tange temperatura, ventilação e ruído, as condições existentes deveriam promover a saúde e o bem-estar dos colaboradores, sem comprometer o desempenho individual e, conseqüentemente, as metas produtivas da célula.

A disposição física dos colaboradores deveria otimizar o fluxo de material no processo, sendo cada profissional responsável pela execução de tarefas pré-determinadas, apresentando como objetivo o atendimento dos níveis produtivos especificados pela liderança e estando suscetíveis a um sistema de rotação de tarefas.

De maneira prescrita, foram identificadas as seguintes tarefas: conformar, aplicar adaflex, palmilhar, reativar, riscar, aplicar adesivo I, fechar bico, ensacar, fechar calceira, asperar, asperar na cabine, aplicar adesivo II, prensar, desenformar, limpar, acabamento I, acabamento II e acabamento III.

4.3 Análise da atividade

A célula produtiva era composta por 23 colaboradores (n=23), sendo 14 homens (n=14; 61%) e nove mulheres (n=9; 39%). Três colaboradores (n=3; 13%) tinham menos de 20 anos de idade; 13 (n=13; 57%) tinham entre $20 \leq \text{idade} \leq 30$ anos; três (n=3; 22%) tinham entre $30 < \text{idade} \leq 40$ anos, e; dois (n=2; 9%) entre $40 < \text{idade} \leq 50$ anos.

Com relação à altura, seis colaboradores (n=6; 26%) tinham entre $150 \leq \text{altura} \leq 160$ centímetros (cm); oito (n=8; 35%) tinham entre $160 < \text{altura} \leq 170$ cm; sete (n=7; 30%) entre $170 < \text{altura} \leq 180$ cm, e; dois (n=2; 9%) entre $180 < \text{altura} \leq 190$ cm.

No que cerne o peso, um colaborador tinha 47 kg (n=1; 4%); quatro (n=4; 17%) tinham entre $50 < \text{Peso} \leq 60$ kg; 11 (n=11; 48%) tinham entre $60 < \text{Peso} \leq 70$ kg; cinco (n=5; 22%) tinham entre $70 < \text{Peso} \leq 80$ kg; um (n=1; 4%) tinha 86 kg, e; um (n=1; 4%) tinha 100 kg. Logo, 82,6% (n=19) da amostra tinha peso normal e 17,4% obesidade (n=4).

Para o tempo de trabalho na empresa: cinco colaboradores (n=5; 22%) estavam há menos de 12 meses; seis (n=6; 26%) há exatos 12 meses; dois colaboradores (n=2; 9%) tinham 18 meses de empresa; dois colaboradores (n=2; 9%) tinham 24 meses; um colaborador (n=1; 7%) tinha 36 meses de empresa; três colaboradores (n=3; 13%) tinham 48 meses; dois colaboradores (n=2; 9%) tinham 56 meses; um colaborador (n=1; 4%) tinha 132 meses, e; um (n=1; 4%) tinha 156 meses de empresa.

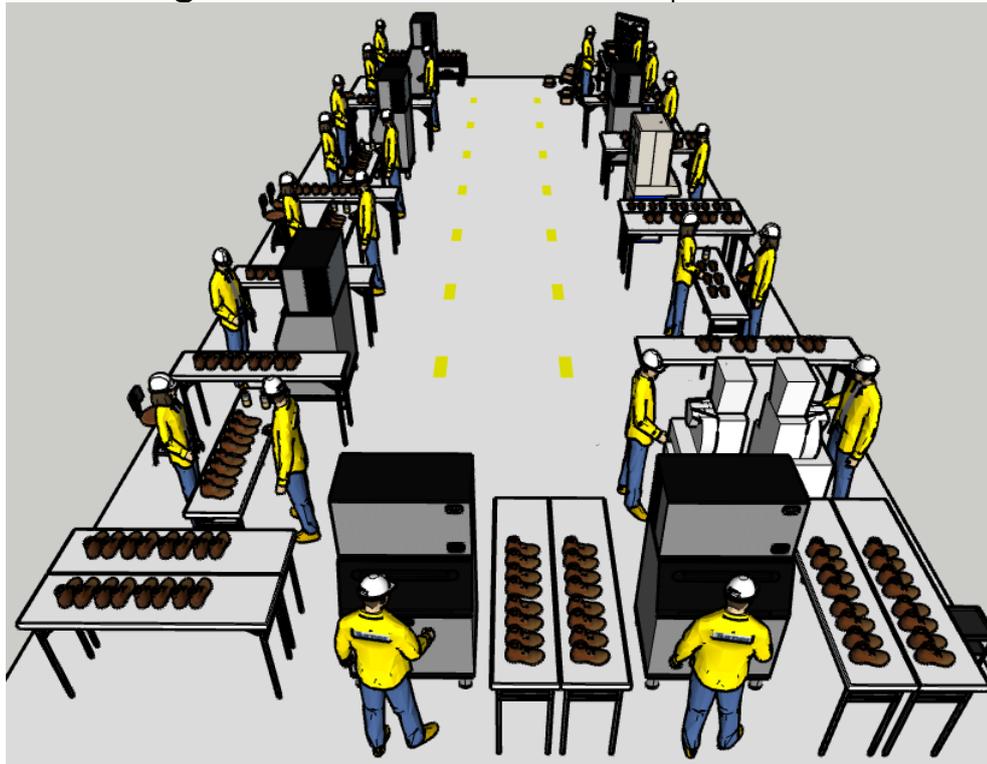
As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, as visões frontais e de fundo da célula produtiva.

Figura 5 – Visão frontal da célula produtiva A



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Figura 6 – Visão do fundo célula produtiva A



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

4.3.1 Aspectos produtivos

O Tempo de Ciclo (TC) para produção do calçado era de 10,4 minutos. Especificamente para cada atividade, identificou-se que cinco colaboradores ($n=5$; 22%) tinham um TC menor que 20 segundos; 12 colaboradores ($n=12$; 52%) tinham entre $20 \leq TC \leq 30$ segundos; três ($n=3$; 13%) tinham entre $30 \leq TC \leq 40$ segundos; dois ($n=2$) tinham entre $40 \leq TC \leq 50$ segundos, e; um ($n=1$; 4%) tinha um TC de 68 segundos.

A meta de produção era de 600 pares por dia, o que demandava um *takt time* de 1,5 par de calçados por minuto ou 92 pares por hora. Entretanto, a produção diária da célula produtiva ao final do turno variava entre $420 \leq \text{Produção} \leq 450$ pares, o que resultava em uma eficácia entre $70 \leq \text{Eficácia} \leq 75\%$. O percentual abaixo da meta era decorrente das condições operacionais e perdas produtivas ao longo da jornada diária.

4.3.2 Aspectos biomecânicos

As atividades realizadas pelos colaboradores aconteciam em pé, com as duas pernas apoiadas, sendo realizados pequenos deslocamentos na própria célula produtiva. As principais estruturas corporais utilizadas eram os membros superiores, com maior ênfase nas mãos, pulsos, antebraços e ombros. Também se identificou que as tarefas repetitivas abrangiam 71% do turno de trabalho e o tempo de recuperação estimado era de duas horas e 26 minutos (29% do turno de trabalho).

A partir da análise dos aspectos biomecânicos aplicou-se as ferramentas ergonômicas, onde os resultados obtidos estão expressos no Quadro 1. Em vermelho estão os maiores valores obtidos de acordo com as respectivas ferramentas, que indicam maior atenção para essas atividades.

Com relação ao OCRA, por exemplo, valores acima de nove indicam um grau de risco alto e isso foi encontrado para o braço direito da atividade 4 (calçar cabedal na forma), braço esquerdo da atividade 5 (Riscar lateral I), braço direito da atividade 6 (Riscar lateral II), os dois braços da atividade 12 (Ensacar cabedal), braço direito da atividade 19 (desenformar) e braço direito da atividade 22 (Montar caixa, atacador e embalar).

Com relação ao RULA, as atividades 3 (Palmilhar), 6 (Riscar lateral II) e 18 (Montar sola e prensar) enquadraram-se no nível de ação 4, em que são demandadas alterações urgentes. Para o OWAS, as atividades 5 (Riscar lateral I), 6 (Riscar lateral II) e 12 (Ensacar cabedal) enquadraram-se no nível de ação 4, em que também são demandas alterações urgentes.

No Quadro 1 também foram destacados em amarelo os resultados que podem ser pontos de atenção para potenciais intervenções futuras, pois se enquadraram como nível médio no OCRA e nível de ação 3 no RULA e OWAS, que indicam ações corretivas em um futuro próximo.

Quadro 1 – Resultados dos métodos ergonômicos

Atividades	Ocra				RULA	Ação	OWAS
	Esquerdo	Risco	Direito	Risco			
1	1,13	Aceitável	2,07	Aceitável	3	2	2
2	4,97	Médio	7,37	Médio	4	2	2
3	7,29	Médio	8,54	Médio	7	4	3
4	8,05	Médio	26,69	Alto	6	3	3
5	23,15	Alto	2,92	Muito baixo	6	3	4
6	2,57	Alto	19,49	Muito baixo	7	4	4
7	5,60	Médio	2,95	Muito baixo	4	2	2
8	7,62	Médio	3,5	Muito baixo	4	2	2
9	8,79	Médio	7,20	Médio	3	2	3
10	3,63	Baixo	4,22	Baixo	3	2	2
11	8,92	Médio	5,01	Médio	2	1	2
12	18,39	Alto	24,02	Alto	6	3	4
13	9,34	Alto	4,09	Baixo	5	3	3
14	3,71	Baixo	4,08	Baixo	3	2	2
15	7,50	Médio	3,94	Baixo	4	2	3
16	1,94	Aceitável	8,10	Médio	4	2	3
17	3,54	Baixo	6,44	Médio	5	3	3
18	6,27	Médio	6,21	Médio	7	4	3
19	4,22	Baixo	10,62	Alto	6	3	2
20	6,96	Médio	8,80	Médio	5	3	3
21	8,68	Médio	8,76	Médio	6	3	3
22	6,96	Médio	9,80	Alto	6	3	3

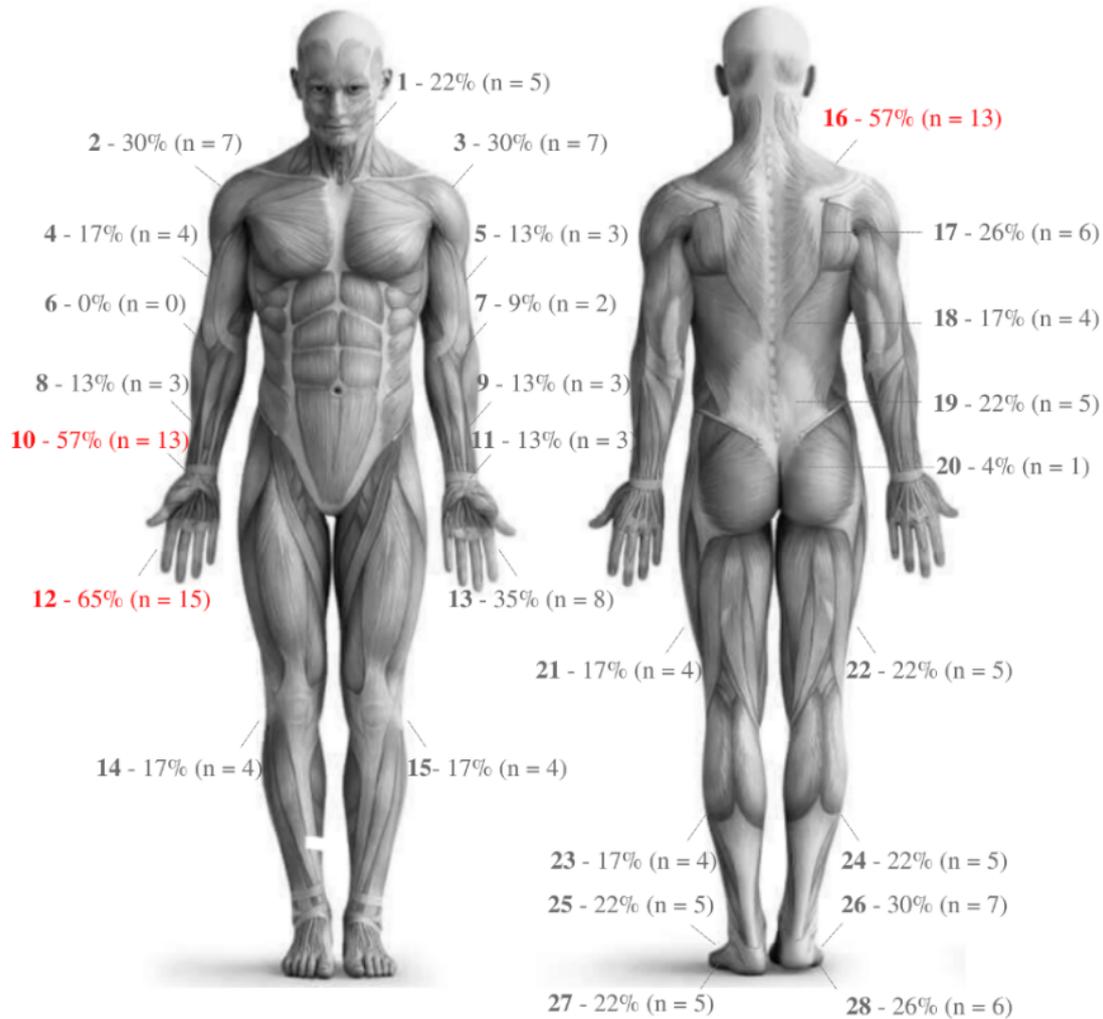
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A Figura 7 apresenta as regiões corporais e o percentual de colaboradores que apresentaram desconforto osteomuscular, decorrente, principalmente, dos movimen-

tos realizados nas atividades diárias. Três áreas corporais apresentaram maior incidência: (i) o punho direito, representado pelo número dez, foi reportado por 57% dos colaboradores (n=13); (ii) a mão direita foi indicada por 65% da amostra (n=15), e; (iii) a região cervical por 57% da amostra (n=13).

Apesar dessas três áreas serem as mais indicadas, identificou-se, conforme mostra a Figura 7, que as atividades realizadas diariamente ocasionavam desconfortos em diferentes áreas corporais, por exemplo: ombro direito (n=7; 30%), ombro esquerdo (n=7; 30%), antebraço (n=3; 13%), costa superior (n=6; 26%), costa inferior (n=5; 22%) e pés (n=6; 26%).

Figura 7 – Desconfortos indicados pelos colaboradores



Legenda:

1 - Pescoço	2 - Ombro direito	3 - Ombro esquerdo	4 - Braço direito
5 - Braço esquerdo	6 - Cotovelo esquerdo	7 - Cotovelo direito	8 - Antebraço direito
9 - Antebraço esquerdo	10 - Punho direito	11 - Punho esquerdo	12 - Mão direita
13 - Mão esquerda	14 - Joelho esquerdo	15 - Joelho direito	16 - Cervical
17 - Costa superior	18 - Costa média	19 - Costa inferior	20 - Bacia
21 - Coxa esquerda	22 - Coxa direita	23 - Pernas esquerda	24 - Perna direita
25 - Tornozelo esquerdo	26 - Tornozelo direito	27 - Pé esquerdo	28 - Pé direito

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Também foi identificado que a empresa disponibilizava aos colaboradores práticas de ginástica laboral, durante 15 minutos diários, objetivando mitigar os impactos dos problemas osteomusculares. Dos 23 colaboradores (n=23; 100%), 65% (n=15) realizavam a ginástica cinco dias por semana, 30% (n=7) três vezes por semana e 4% (n=1) realizava uma vez por semana. Elas eram realizadas duas horas e 30 minutos após o início da jornada diária.

Com relação aos impactos dessas atividades, 91% (n=21) indicaram um alívio nos desconfortos osteomusculares, 96% (n=22) indicaram ter mais disposição para as atividades diárias, 96% (n=22) indicaram a melhora no bem-estar e para 96% (n=22) impactou positivamente na relação com os outros colaboradores.

Apesar disso, foi identificado nessa célula um total de sete solicitações de afastamento em decorrência de distúrbios osteomusculares no período de um ano, que totalizaram 50 dias com colaboradores afastados das atividades produtivas. Também foi identificado um total de 22 ocorrências no ambulatório médico decorrente de distúrbios osteomusculares no período de um ano, que totalizaram aproximadamente 22 dias com colaboradores afastados das atividades produtivas.

4.3.3 Análises relacionais

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na análise relacional entre as variáveis pessoais e os distúrbios osteomusculares a partir do V de Cramer, onde os resultados significativos estão marcados em vermelho. Identificou-se que o peso teve uma associação forte com os distúrbios osteomusculares na perna direita (V de Cramer = 0.6123724).

O tempo de trabalho dos colaboradores na empresa teve uma associação forte com os desconfortos na região cervical (V de Cramer = 0.6584374), costa inferior (V de Cramer = 0.712052), cotovelo esquerdo (V de Cramer = 0.6616727) e punho direito (V de Cramer = 0.6338915).

Tabela 1 – Análises Relacionais

Regiões corporais	Sexo	Idade	Peso	Altura	Tempo de trabalho
Pescoço	8,13E-14	0.296417	0.487831	0.479252	0.3518658
Região cervical	0.2227605	0.357257	0.452383	0.574097	0.6584374
Costa superior	0.2227605	0.385900	0.495613	0.215635	0.2931883
Costa média	8,13E-14	0.402421	0.512522	0.246498	0.4161337
Costa inferior	6,93E-11	0.349195	0.288937	0.365854	0.712052
Bacia	0	0.186989	0.404519	0.322329	0.2919371
Ombro-esquerdo	0,00E+00	0.200217	0.460624	0.305769	0.3243911
Ombro-direito	0	0.291103	0.367338	0.262769	0.3980432
Braço esquerdo	0	0.399518	0.291937	0.379927	0.2202542
Braço direito	0	0.387690	.4496144	0.287015	0.2754866
Cotovelo esquerdo	0.1703463	0.469782	0.767649	0.536745	0.6616727
Cotovelo direito	0.1703463	0	0	0	0
Antebraço esquerdo	8,13E-14	0.339683	0.257226	0.379927	0.3420004
Antebraço direito	8,13E-14	.339683	0.257022	0.379927	0.3420004
Punho esquerdo	0.2053571	0.303786	0.569156	0.480203	0.3213624
Punho direito	0.1909407	0.249989	0.596768	0.440701	0.6338915

Regiões corporais	Sexo	Idade	Peso	Altura	Tempo de trabalho
Mão esquerda	0.2362278	0.322616	0.463721	0.480203	0.28163
Mão direita	0.2362278	0.322616	0.463721	0.480203	0.28163
Coxa esquerda	0.01785714	0.209748	.3763334	0.436417	0.3122649
Coxa direita	0	0.438983	0.368452	0.533333	0.2795972
Joelho esquerdo	6,93E-11	0.353123	0.312422	0.211066	0.4933772
Joelho direito	0.03340766	0.209748	0.312422	0.211066	0.4933772
Perna esquerda	6,93E-11	0.243955	0.479233	0.287015	0.3678836
Perna direita	0.09860133	0.408248	0.612372	0.178174	0.4432026
Tornozelo esquerdo	0.09860133	0	0	0	0
Tornozelo direito	0.2399112	0	0	0	0
Pé esquerdo	0.09860133	0.5	0.406201	0.106904	0.348466
Pé direito	0.1720082	0.5	0.3	0.106904	0.4309458

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

4.4 DIAGNÓSTICO ERGONÔMICO

A célula produtiva, apesar de ser considerada um ambiente termicamente moderado, apresentava condições que não resultavam no conforto térmico, que ficou evidenciado no processo termo fisiológico de sudorese dos colaboradores. A ventilação mecânica promovia a circulação do ar de maneira limitada, não suprindo as demandas térmicas existentes.

A disposição física dos colaboradores possibilitava o fluxo contínuo do material, otimizando o deslocamento entre as atividades e minimizando as movimentações dos colaboradores internamente. Essas características impactavam positivamente no tempo de ciclo para fabricação completa do calçado e, conseqüentemente, nos níveis de eficácia da unidade produtiva.

A prescrição das tarefas era majoritariamente seguida pelos colaboradores. Isso mitigava os movimentos biomecânicos não naturais, trazendo impactos positivos para a saúde do colaborador e, conseqüentemente, para a unidade produtiva. Esse cenário era reflexo de uma preocupação interna da organização com os aspectos ergonômicos, alicerçada pelo processo de conscientização dos colaboradores a partir dos diálogos internos.

O turno de trabalho dos colaboradores era das 14:00 às 22:26 horas, com carga efetiva de trabalho de 6 horas ou 71% da carga horária do turno. A célula possuía colaboradores multifuncionais, entretanto, mesmo existindo um sistema de rotação de tarefas previamente estabelecido, eles desempenhavam sempre as mesmas atividades. Logo, o sistema de rotação não estava vigente nessa célula.

Com relação aos aspectos produtivos, as atividades possuíam um tempo de ciclo curto, o que resultava em tarefas repetitivas. Dos 22 colaboradores, 20 (n=20; 90%) tinham um tempo de ciclo menor que 40 segundos ($TC \leq 40$ segundos). Na busca pelo alcance da meta produtiva, os colaboradores alocados nas atividades com ciclos produtivos curtos (por exemplo: $TC < 20$ segundos), ao terminar as suas atividades, davam apoio nas outras, principalmente as que possuíam ciclos produtivos maiores ($TC \geq 40$ segundos).

Os ciclos produtivos curtos, associados a inexistência de um sistema de rotação de tarefas, faziam com que os colaboradores ao longo da jornada diária realizassem, predominantemente, os mesmos movimentos. Com isso, as atividades musculares realizadas ao longo da jornada diária concentravam-se nas mesmas regiões corporais, impactando

negativamente no processo de recuperação física.

A meta de produção de 600 pares por dia resultava em um takt time elevado, o que acarretava, mesmo que inconscientemente, em uma pressão temporal nos colaboradores para o alcance das metas. Apesar disso, o nível de eficácia da unidade produtiva ficava entre $70 \leq \text{eficácia} \leq 75\%$, o que demandava a realização de horas extras nessa célula.

As tarefas repetitivas abrangiam a carga efetiva de trabalho ao longo do turno (6 horas ou 71% do turno). O tempo de recuperação física dos colaboradores era de 2 horas e 26 minutos, o que representava 29% do turno de trabalho. Ressalta-se, entretanto, que o processo de recuperação física não era intervalar, não existindo uma estrutura organizacional de pausas programadas ao longo da jornada diária.

Essas tarefas repetitivas, decorrentes do TC curto das atividades, ampliadas pelas horas extras de trabalho, resultavam na sobrecarga física dos colaboradores. O contexto existente resultava na incidência de distúrbios osteomusculares, sendo registradas sete solicitações de afastamento, que resultaram em 50 dias com colaboradores afastados. Além disso, foram 22 ocorrências registradas no ambulatório médico, que resultaram em 22 dias com colaboradores ausentes das atividades produtivas.

O afastamento de um colaborador das atividades diárias demandava a reorganização da célula produtiva, objetivando suprir a lacuna existente. Essa lacuna podia ser preenchida pontualmente pelo líder, entretanto, como ao longo do dia ele possuía demandas administrativas com os supervisores e gerentes, tornava-se necessário que outro colaborador absorvesse essa atividade.

Quando um colaborador assume uma atividade que não é a sua, ele não terá o mesmo desempenho operacional do responsável pela atividade, o que impactará no desempenho da unidade produtiva. Além disso, como ele ficará responsável por duas atividades, ele estará sujeito a uma ampliação da sobrecarga física, o que aumenta a possibilidade de potenciais distúrbios osteomusculares.

Com relação a esses distúrbios, as áreas do corpo mais apontadas pelos colaboradores foram o punho direito ($n=13$; 57%), a região cervical ($n=13$; 57%) e a mão direita ($n=15$; 63%). Apesar disso, as condições de trabalho resultaram desconfortos em diferentes áreas corporais, desde os ombros ($n=7$; 30%), antebraço ($n=3$; 13%), costa superior ($n=6$; 26%), costa inferior ($n=5$; 22%) e pés ($n=6$; 26%).

O tempo de trabalho na empresa também se configurou como uma variável importante, pois foi identificada uma relação direta com os distúrbios osteomusculares na região cervical, costa inferior, cotovelo esquerdo e punho direito. Outra relação identificada foi entre o peso e desconfortos nas pernas.

Diante dos resultados encontrados, observou-se que o principal impacto das atividades realizadas aconteceu nos membros superiores, principalmente mãos e punhos. Com o desempenho diário das atividades e ampliação do tempo de trabalho na empresa, esses desconfortos incidiram em outras regiões corporais, como, por exemplo, a região cervical e a costa inferior.

Diante desse cenário, os movimentos repetitivos realizados nas seguintes atividades demandaram atenção imediata: braço direito na atividade 4 (calçar cabedal na forma), braço esquerdo da atividade 5 (Riscar lateral I), braço direito da atividade 6 (Riscar lateral II), os dois braços da atividade 12 (Ensacar cabedal), braço direito da atividade 19 (desenformar) e braço direito da atividade 22 (Montar caixa, atacador e embalar).

Com relação ao aspecto postural dos colaboradores, as seguintes atividades de-

mandaram atenção imediata: atividade 3 (Palmilhar), atividade 5 (Riscar lateral I), atividade de (Riscar lateral II), atividade 12 (Ensacar cabedal) e atividade 18 (Montar sola e prensar).

Por último, a Ginástica Laboral (GL) disponibilizada pela empresa, que era de 15 minutos cinco dias por semana, ampliou o tempo de recuperação física dos colaboradores. Os movimentos realizados na GL mitigavam os potenciais impactos da sobrecarga física, incidindo positivamente no número de ocorrências no ambulatório médico e no número de solicitações de afastamento.

A GL também impactou positivamente no bem-estar, satisfação e no relacionamento entre os colaboradores. Esses aspectos influenciam positivamente na motivação, impactando positivamente no desempenho individual e, posteriormente, na eficácia da unidade produtiva.

4.5 DIAGRAMA DE ENLACE CAUSAL (DEC)

A partir das informações obtidas no Diagnóstico Ergonômico (DE) foi estruturado o Diagrama de Enlace Causal (DEC), que mostra o contexto sistêmico identificado na célula produtiva. Conforme mostra a Figura 8, foram identificados cinco ciclos fechados de causa e efeito (loop), sendo quatro loops de reforço (R) e um de balanço (B), que serão descritos a seguir.

O primeiro loop de reforço (R1) refere-se ao subsistema da influência da carga de trabalho efetiva na sobrecarga física. Observou-se que a ampliação da carga efetiva de trabalho resultava na ampliação da quantidade dos movimentos realizados pelos colaboradores. Diante da inexistência da rotação de tarefas, o aumento dos movimentos realizados diariamente acarretava na ampliação dos movimentos decorrentes da monofuncionalidade.

Ao executar apenas uma atividade, existia a concentração dos movimentos biomecânicos em segmentos corporais específicos, o que aumentava o desgaste dessas estruturas. O desgaste em regiões corporais específicas resultava em uma sobrecarga física dos colaboradores, resultando em uma queda involuntária de desempenho e impactando negativamente no quantitativo produzido ao final do turno de trabalho.

Os gestores e o líder, diante do quantitativo produzido abaixo da meta especificada, demandavam a realização das horas extras (no mínimo 1 hora extra e dois dias por semana). Essa medida organizacional, apesar de aumentar a eficácia da célula produtiva, ampliava a carga efetiva de trabalho dos colaboradores, que impactava novamente na quantidade de movimentos decorrente da monofuncionalidade.

O segundo loop de reforço (R2) refere-se ao subsistema da influência da sobrecarga física no número de ocorrências registradas no ambulatório médico. A existência da sobrecarga física influenciava na incidência dos distúrbios osteomusculares, principalmente no punho direito, mão direita e região cervical. Diante do surgimento desses distúrbios, os colaboradores procuravam o ambulatório médico da empresa, ampliando o quantitativo de ocorrências registradas.

Com o colaborador ausente da célula produtiva ao longo da jornada diária, tornava-se necessária a realocação das atividades para suprir as demandas decorrentes dessa ausência. Esse processo resultava, mesmo que de maneira provisória, em uma perda de conhecimento na unidade produtiva, pois os outros colaboradores não tinham o mesmo conhecimento operacional do colaborador ausente.

Por não ter o mesmo conhecimento da atividade, o processo de execução ficava

mais dificultoso, ampliando a quantidade de movimentos necessários. Isso resultava na ampliação dos movimentos decorrentes da monofuncionalidade, que, em decorrência da concentração dos movimentos em segmentos corporais específicos, aumentavam a sobrecarga física dos colaboradores.

O terceiro loop de reforço (R3) refere-se ao subsistema da influência da sobrecarga física no número de afastamentos. A existência da sobrecarga física influenciava na incidência dos distúrbios osteomusculares, principalmente nas estruturas dos membros superiores. O surgimento ou o agravamento desses distúrbios resultava nas solicitações de afastamento dos colaboradores.

O afastamento também resultava na ausência do colaborador das atividades diárias, demandando novamente uma reorganização da célula produtiva para mitigação dos impactos dessa ausência nos objetivos produtivos. Apesar dessa reorganização, como o colaborador que detinha o conhecimento operacional estava ausente, existia uma perda de conhecimento na unidade produtiva.

Essa reorganização e consequente perda de conhecimento tornavam o processo de execução mais dificultoso, pois ampliavam a quantidade de movimentos realizadas pelos colaboradores para atender as novas demandas existentes. Com isso, existia a ampliação dos movimentos decorrentes da monofuncionalidade, que, em decorrência da concentração dos movimentos em segmentos corporais específicos, aumentava a sobrecarga física.

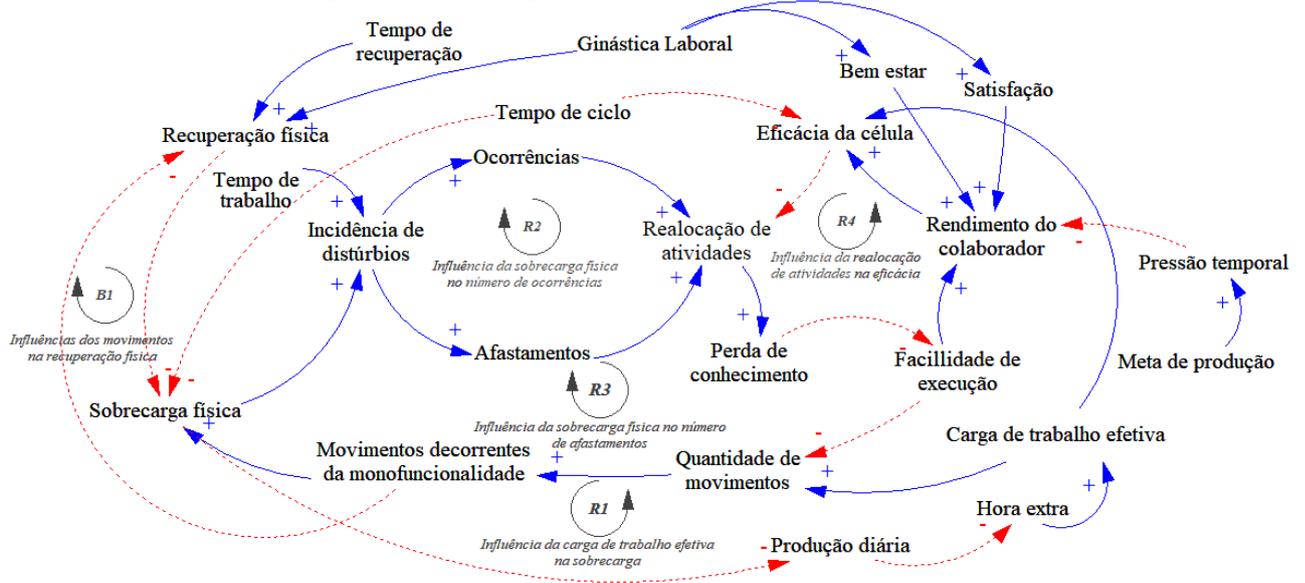
O quarto loop de reforço (R4) refere-se ao subsistema da influência da realocação das atividades na eficácia produtiva. Diante da ausência de um colaborador na célula, seja pela ocorrência no ambulatório médico ou pela solicitação de afastamento, existia a necessidade de reorganizar a unidade produtiva. Esse processo resultava na perda do conhecimento, o que comprometia o processo de execução, pois ampliava as demandas diárias dos colaboradores e os submetiam a movimentos que não estavam habituados, comprometendo o processo de execução.

Esse cenário influenciava no rendimento individual do colaborador, refletido pela ampliação do tempo de ciclo das atividades previamente estabelecidas. Esse decréscimo no desempenho individual, por consequência, influenciava na eficácia da célula produtiva. A liderança, diante dos resultados apresentados, precisava reestruturar novamente a organização produtiva em busca da ampliação da eficácia da célula.

O loop de balanço (B1) refere-se ao subsistema da influência dos movimentos realizados pelos colaboradores na recuperação física. Como não existia a rotação das tarefas, os movimentos decorrentes da monofuncionalidade, em função da repetitividade, influenciavam negativamente na recuperação física dos colaboradores. Por consequência, quanto menor o processo de recuperação, maior a sobrecarga física.

O desgaste físico do colaborador impactava no quantitativo produzido diariamente, pois, como as atividades apresentavam ciclos produtivos curtos, existia uma demanda física para o desempenho das atividades. A partir do momento que existia uma redução no quantitativo produzido diariamente, existia a necessidade de horas extras, que ampliavam a carga de trabalho efetivo e, conseqüentemente, o quantitativo de movimentos decorrentes da monofuncionalidade.

Figura 8 – Diagrama de Enlace Causal (DEC)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

5 DISCUSSÃO

A integração do DEC à AET possibilitou melhor compreensão acerca das variáveis diagnosticadas. Isso foi decorrente da capacidade do diagrama em apresentar de maneira objetiva as relações causais, que muitas vezes não são claramente identificadas nas análises e diagnósticos realizados (Bouloiz *et al.*, 2013).

Exemplifica-se o exposto citando um dos resultados obtidos. No primeiro *loop* de reforço (R1), observou-se que a ampliação da carga efetiva de trabalho resultava na ampliação da quantidade dos movimentos realizados pelos colaboradores. Diante da inexistência da rotação de tarefas, o aumento dos movimentos realizados diariamente acarretava a ampliação dos movimentos decorrentes da monofuncionalidade.

Ao executar apenas uma atividade, existia a concentração dos movimentos biomecânicos em segmentos corporais específicos, o que aumentava o desgaste dessas estruturas. O desgaste em regiões corporais específicas resultava em uma sobrecarga física dos colaboradores, resultando em uma queda involuntária de desempenho e impactando negativamente no quantitativo produzido ao final do turno de trabalho.

A interação descrita acima evidencia uma das importantes relações de causalidade identificadas, que só puderam ser efetivamente diagnosticadas e visualizadas a partir do diagrama estruturado. Por isso, os resultados obtidos se alinharam às constatações de Naweed *et al.* (2022), que mostraram como o DEC foi importante para esclarecer a dinâmica do sistema analisado e produzir um quadro holístico dos fatores relacionados às ocorrências e aos efeitos das DORTs.

Diante disso, o DEC, apesar de ter um enfoque gráfico e qualitativo, configura-se como uma importante ferramenta no processo de comunicação acerca da interação das variáveis relacionadas à ergonomia em um sistema produtivo, sendo relevante também sob perspectiva prática, pois permite que as pessoas envolvidas ampliem sua capacidade de compreensão e possam ser mais assertivas para potenciais intervenções (Farid; Neumann, 2020; Salmon *et al.*, 2020; Shire *et al.*, 2020).

Analisando as condições laborais, identificou-se que a célula não apresentava um sistema de rotação de tarefas, fazendo com que os colaboradores realizassem repetitivamente as mesmas atividades. De maneira similar, Leite *et al.* (2016) analisaram uma indústria calçadista e identificaram que, embora a maioria dos trabalhadores fosse multifuncional e tivesse conhecimento para realizar quase todas as atividades existentes nas unidades produtivas, a maioria das células não possuía um sistema de rotação de tarefas ativo.

Com isso, as atividades musculares realizadas ao longo da jornada diária concentravam-se nas mesmas regiões corporais, impactando negativamente na recuperação física. Isso acontece, pois, segundo Bernardes e Renner (2009), as atividades repetitivas concentradas nos mesmos grupos musculares, tendões e articulações resultam no processo de superutilização, não possibilitando a recuperação física adequada e acarretando um processo de desgaste físico.

Esse desgaste físico também teve uma relação com a carga efetiva de trabalho, pois o caráter repetitivo das atividades abrangia 71% do turno de trabalho. Isso se alinha aos achados Etefa *et al.*, (2018), Leite (2016) e Lucas (2023) que identificaram a elevada carga de trabalho para os operadores da indústria calçadista, em que os esforços físicos são mantidos entre 60% e 80% do turno diário.

Nesse sentido, apesar da ampliação da carga efetiva de trabalho impactar positivamente na produtividade (Farid; Neumann, 2020), ela ampliava os movimentos decorrentes da monofuncionalidade (Lucas *et al.*, 2024). Isso, conseqüentemente, aumentava o desgaste em regiões corporais específicas e resultava no processo sobrecarga física dos colaboradores (Lourinho *et al.*, 2011; Greene *et al.*, 2017; Sood *et al.*, 2017).

A influência da carga efetiva e dos movimentos repetitivos realizados ao longo do turno na sobrecarga física também foram identificados por outros autores, como, por exemplo, Greene *et al.* (2017) e Sood *et al.* (2017). Isso decorre, pois, segundo Mattos *et al.* (2019), existe uma busca dentro das organizações pela eficiência máxima (ciclo de trabalho próximo ao takt time), que associada ao caráter repetitivo das tarefas resulta no processo de sobrecarga física, afetando a saúde do trabalhador e a produtividade geral da linha.

Esse cenário, também foi constatado por Lourinho *et al.* (2011), quando diagnosticou que os trabalhadores do setor de montagem realizavam a mesma atividade durante todo o turno de trabalho, que durava 8 horas diárias, sem rodízio de funções e sem tempo de recuperação física, resultando no processo de sobrecarga. Etefa *et al.* (2018), por sua vez, identificaram que o contexto laboral de uma fábrica de calçados criava uma conjuntura favorável ao adoecimento do colaborador, principalmente em decorrência do suporte organizacional deficiente, longas jornadas de trabalho e horas extras recorrentes.

Dessa forma, os achados de Etefa *et al.* (2018), Greene *et al.* (2017), Lourinho *et al.* (2011), Mattos *et al.* (2019) e Sood *et al.* (2017) corroboraram uma das relações identificadas nesta pesquisa, em que a interação entre pressão temporal decorrente da meta produtiva elevada, carga efetiva de trabalho, repetitividade das tarefas e monofuncionalidade resultavam no processo de sobrecarga física dos colaboradores e, conseqüentemente, na incidência de DORTs.

5 CONCLUSÕES

A introdução do Diagrama de Enlace Causal (DEC), que é a vertente gráfica e qualitativa da Dinâmica de Sistemas (DS), ampliou a capacidade de visualizar e compreender as informações disponibilizadas pela Análise Ergonômica do Trabalho (AET). Concluiu-se, assim, que o mapa causal ampliou a capacidade analítica e deu mais subsídios informacionais para otimização das condições laborais.

Evidenciou-se a necessidade de atenção acerca da interação que existe entre carga efetiva de trabalho e os movimentos decorrentes da monofuncionalidade, pois movimentos concentrados nos mesmos segmentos corporais não possibilitam a recuperação física e resultam no processo de sobrecarga, que tende a ser agravada pela exposição a altas jornadas de trabalho. Isso acarreta distúrbios osteomusculares e, conseqüentemente, maior incidência no ambulatório médico da empresa e solicitações de afastamento.

A principal limitação desta pesquisa foi com relação à ergonomia participativa, pois os pesquisadores obtiveram feedbacks limitados dos colaboradores, que se restringiram às práticas de ginástica laboral e incidência de distúrbios. Isso foi decorrente do tipo de análise realizada, que se concentrou na análise observacional e documental.

Por último, como a associação da DS com a ergonomia ainda é incipiente, existem possibilidades futuras a serem exploradas. De maneira geral, essa abordagem integrada poderia ser replicada para outros setores produtivos, sejam industriais, de serviços ou tecnológicos, objetivando uma análise mais ampla das condições ergonômicas a partir da identificação das relações causais e da projeção de cenários futuros a partir do Diagrama de Fluxos e Estoques (DFE), que é a vertente quantitativa.

REFERÊNCIAS

ABICALÇADOS. **Quem somos? Perfil da indústria calçadista.** 2024. Disponível em: <<https://www.abicalcados.com.br/sobre>> Acesso em: 17/6/2024.

BEDIN, Érika Pena; FONTES, Andréa Regina Martins; BRAATZ, Daniel. Discrepância entre o trabalho prescrito e real: o caso dos fiscais de contrato de serviços terceirizados das universidades federais do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 22, n. 2, p. 232–249, 2020.

BERNARDES, J.M; RENNER, J. S. Fatores de risco para LER/DORT no setor de montagem de uma indústria de calçados. **Fisioterapia Brasil**, v.10, n.3, p. 1-6, 2009.

BOULOIZ, Hafida et al. A system dynamics model for behavioral analysis of safety conditions in a chemical storage unit. **Safety Science**, v. 58, p. 32–40, 2013

CAMPOS, Carly de Farias. **Análise ergonômica de um posto de colagem de uma indústria calçadista.** 2003. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

COLAÇO, Geraldo Alves. **Ergonomic measures implementation in a footwear industry: an analysis of the working condition influences in the shoes un mold activity.** 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

COYLE, R. G. **System Dynamics Modelling: a Practical Approach**, 1996.

DIANAT, Iman et al. Association of individual and work-related risk factors with musculoskeletal symptoms among Iranian sewing machine operators. **Applied Ergonomics**, v. 51, p. 180–188, 2015.

ETEFA, M. M.; TEKLU, M. G.; TESHOME, D. F. Work related stress and associated factors among Huajian shoe manufacturing employees in Dukem town, central Ethiopia. **BMC Research Notes**, v. 11(1), p. 1–6, 2018.

FARID, Mashal; PURDY, Nancy; NEUMANN, W Patrick. Using system dynamics modelling to show the effect of nurse workload on nurses' health and quality of care. **Ergonomics**, v. 63, n. 8, SI, p. 952–964, 2020.

FARID, Mashal; NEUMANN, W Patrick. Modelling the effects of employee injury risks on injury, productivity and production quality using system dynamics. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 20, p. 6115–6129, 2020.

FERREIRA, Leda Leal. Sobre a Análise Ergonômica do Trabalho ou AET. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 40, n. 131, p. 8–11, 2015.

GREENE, Runyu L. et al. Visualizing stressful aspects of repetitive motion tasks and opportunities for ergonomic improvements using computer vision. **Applied ergonomics**, v. 65, p. 461–472, 2017.

GUÉRIN, François et al. **Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia**. São Paulo: Edgar Blucher, 2001.

GUIMARÃES, L. B.; RIBEIRO, J. L.; RENNER, J. S. Cost-benefit analysis of a socio-technical intervention in a Brazilian footwear company. **Applied ergonomics**, v. 43, n. 5, p. 948–957, 2012.

LEITE, Wilza Karla dos Santos. **Análise dos riscos ergonômicos para distúrbios osteomusculares nas atividades mono e multifuncionais de uma empresa de calçados**. 2016. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

LEITE, Wilza Karla dos Santos et al. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders among workers in the footwear industry: a cross-sectional study. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 27, p. 393-409, 2021.

LOURINHO, M. G.; NEGREIROS, G. R.; ALMEIDA, L. B. de; VIEIRA, E. R.; QUEMELO, P. R. V. Riscos de lesão musculoesquelética em diferentes setores de uma empresa calçadista. **Fisioterapia e Pesquisa**, v. 18(3), p.252–257, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1809-29502011000300009>

LUCAS, Ruan Eduardo Carneiro. **Incorporando a Dinâmica de Sistemas à Análise Ergonômica do Trabalho em sistemas laborais complexos e uma aplicação na indústria calçadista**. 2022. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

LUCAS et al. Systemic relations among the variables involved in occupational accidents of the nursing team in a psychiatric hospital. **Archives of Psychiatric Nursing**, v. 45, p. 54–60, 2023.

MÁSCULO, Francisco Soares. An ergonomics solution in the footwear industry: the footwear unmold. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 4, p. 577–585, 2017.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. **Ergonomia**: Trabalho eficiente e adequado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MATTOS, Diego Luiz de et al. Simulating the influence of physical overload on assembly line performance: A case study in an automotive electrical component plant. **Applied Ergonomics**, v. 79, p. 107–121, 2019.

ROQUELAURE, Y et al. Active epidemiological surveillance of musculoskeletal disorders in a shoe factory. **Occupational and environmental medicine**, [s. l.], v. 59, n. 7, p. 452–458, 2002.

SALMON, Paul M et al. Computational modelling and systems ergonomics: a system dynamics model of drink driving-related trauma prevention. **Ergonomics**, [s. l.], v. 63, n. 8, SI, p. 965–980, 2020.

SHIN, Mingyu et al. A system dynamics approach for modeling construction workers' safety attitudes and behaviors. **Accident Analysis & Prevention**, v. 68, p. 95–105, 2014.

SILVA, Jonhatan Magno Norte da et al. Construction of an osteomuscular discomfort scale for the upper region of the body of footwear industry workers. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [s. l.], v. 80, p. 103048, 2020.

SILVA, Jonhatan Magno Norte da; SILVA, Luiz Bueno da; GONTIJO, Leila Amaral. Relationship between psychosocial factors and musculoskeletal disorders in footwear industry workers. **Production**, [s. l.], v. 27, 2017.

SOOD, Deepti et al. Predicted endurance times during overhead work: influences of duty cycle and tool mass estimated using perceived discomfort. **Ergonomics**, v. 60, n. 10, p. 1405–1414, 2017.

STERMAN, Jonh D. **Business dynamics**: systems thinking and modeling for a complex world. New York: McGraw-Hill, 2000.

ZINGANO, Eduardo Mariante; OLIVEIRA, Júlio César de. Caracterização do complexo calçadista brasileiro e as causas da queda de seu desempenho na última década. **Estudos do CEPE**, [s. l.], p. 278–309, 2014.

WISNER, ALAIN. Understanding problem building: ergonomic work analysis. **Ergonomics**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 595–605, 1995.