




ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO E DINÂMICA DE SISTEMAS: UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA PROJEÇÃO DE AFASTAMENTOS EM UMA PANIFICADORA

ERGONOMIC ANALYSIS OF WORK AND SYSTEM DYNAMICS: A METHODOLOGICAL APPROACH FOR PROJECTING ABSENCES IN A BAKERY

Ruan Eduardo Carneiro Lucas*  E-mail: ruan.eduardo@ufca.edu.br
Eugenio Andrés Díaz Merino**  E-mail: eugenio.merino@ufsc.br
Diego Luiz de Mattos**  E-mail: diegoclerigo@yahoo.com.br

*Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB, Brasil.

**Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil.

Resumo: O setor de panificação, decorrente da sua competitividade, demanda das organizações mecanismos para aumentar a eficiência. Contudo, a busca pela melhoria contínua pode negligenciar os fatores humanos, tornando os aspectos ergonômicos secundários. Por isso, o afastamento do trabalhador decorrente de doenças ocupacionais requer atenção. Isto posto, o objetivo deste artigo foi analisar as condições ergonômicas em uma panificadora mediante Análise Ergonômica do Trabalho (AET) e, a partir disso, projetar cenários para o número de afastamentos a partir da Dinâmica de Sistemas (DS). O estudo, que foi desenvolvido no setor de produção de uma panificadora localizada na cidade de João Pessoa-PB, utilizou-se uma abordagem metodológica dupla, representada pelo desenvolvimento inicial da AET e complementada com um modelo de simulação a partir da DS. A análise ergonômica mostrou que o desgaste físico e o número de afastamentos estavam relacionados ao volume produtivo, e que eram necessárias mudanças imediatas no setor. Além disso, o modelo de simulação indicou que poderiam acontecer 35 afastamentos se as condições laborais fossem mantidas para o período de um ano. Concluiu-se que a associação da AET com a DS proporcionou uma análise mais ampla das condições existentes, configurando-se em uma alternativa metodológica para melhor compreensão das condições ergonômicas.

Palavras-chave: Setor de panificação. Condições laborais. Análise ergonômica. Simulação.

Abstract: The bakery sector, due to its competitiveness, demands mechanisms from organizations to increase efficiency. However, the pursuit of continuous improvement may overlook human factors, making ergonomic aspects secondary. Therefore, worker absenteeism due to occupational diseases requires attention. With that said, the objective of this article was to analyze ergonomic conditions in a bakery through Work Ergonomic Analysis (WEA) and, based on that, to project scenarios for the number of absences using System Dynamics (SD). The study, conducted in the production sector of a bakery located in the city of João Pessoa-PB, used a dual methodological approach, represented by the initial development of WEA and complemented with a simulation model based on SD. The ergonomic analysis showed that physical wear and the number of absences were related to production volume, and immediate changes in the sector were necessary. Additionally, the simulation model indicated that there could be 35 absences if working conditions remained the same for a year. It was concluded that the combination of WEA with SD provided a broader analysis of existing conditions, representing a methodological alternative for better understanding ergonomic conditions.

Keywords: Bakery sector. Working conditions. Ergonomic analysis. Simulation.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico reestruturou os ambientes laborais, impactando na forma como os trabalhadores lidam com as máquinas, equipamentos e dispositivos da informação. Esses novos paradigmas tecnológicos transformaram os sistemas atuais de trabalho em sistemas complexos, que se caracterizam por comportamentos não lineares em decorrência das relações causais entre os elementos técnicos, humanos e organizacionais (Bouloiz *et al.*, 2013; Lucas, 2022).

Mattos *et al.* (2019) mostraram que o afastamento de um trabalhador ocorre como consequência da sobrecarga e do adoecimento, que são decorrentes das condições de trabalho (por exemplo, tempo de ciclo, meta de produção, dispositivos de informação, condições ergonômicas) que interagem entre si e criam uma relação de causalidade, configurando o sistema produtivo em um sistema complexo e dinâmico (que apresenta um comportamento não linear).

Historicamente, a ergonomia sempre analisou as condições existentes nos sistemas de trabalho complexos, entretanto o aumento da complexidade dos sistemas atuais em decorrência do avanço tecnológico, associado a mudança de paradigma na abrangência do pensamento sistêmico, expuseram as limitações dos métodos ergonômicos (Salmon *et al.*, 2017; Lucas, 2022).

Essas limitações são decorrentes do tipo de análise que é disponibilizada, pois elas fornecem apenas descrições estáticas dos problemas, analisando exclusivamente as partes determinísticas dos sistemas, sem considerar potenciais alterações ao longo do tempo (Read *et al.*, 2020). Assim, apesar de ser alicerçada em uma abordagem sistêmica e holística – como é o caso da Análise Ergonômica do Trabalho (AET) – existe uma demanda por métodos que analisem os sistemas complexos e ampliem o escopo de investigação da Ergonomia (Salmon *et al.*, 2017; Farid; Neumann, 2020).

A Dinâmica de Sistemas (DS) surge como um método para auxiliar os gestores no entendimento dos sistemas complexos e dos impactos das condições laborais ao longo do tempo (Farid; Neumann, 2020). Como o comportamento dinâmico dos sistemas e o impacto das mudanças ao longo do tempo não podem ser compreendidas a partir das abordagens ergonômicas tradicionais, a DS pode ser

utilizada como um método complementar para análise das condições laborais existentes nos sistemas complexos (Ibrahim Shire *et al.*, 2018).

Diante do contexto apresentado, a problemática central desta pesquisa consiste em compreender como uma abordagem metodológica que abrange o comportamento dinâmico do sistema ao longo do tempo, mediante associação da AET com a DS, amplia o entendimento acerca da influência das condições de trabalho no número de afastamentos em uma panificadora.

O setor de panificação, reconhecidamente, apresenta condições laborais que podem comprometer a saúde e o bem-estar dos colaboradores (Gharibi *et al.*, 2020; Karjalainen *et al.*, 2021). Essa problemática também foi identificada em outros estudos, como os desenvolvidos por Dos Santos *et al.* (2019), Finelli *et al.* (2021) e Caldeira *et al.* (2021).

Associado a isso, esse sistema produtivo foi escolhido em virtude de um problema ergonômico previamente identificado pela empresa: incidência de afastamentos em decorrência de problemas osteomusculares após modificações no posto de trabalho.

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é analisar as condições ergonômicas na atividade de fabricação em uma panificadora mediante AET e, a partir disso, projetar cenários para o número de afastamentos mediante a DS. Este estudo justifica-se porque: (i) utiliza uma abordagem metodológica capaz de compreender o comportamento dinâmico desse sistema de trabalho e; (ii) porque projeta cenários para situações produtivas que são factíveis de ocorrer, disponibilizando mais subsídios para otimizar a tomada de decisão e potencializar as intervenções ergonômicas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica foi subdividida em: (i) Análise Ergonômica do Trabalho; (ii) Sistemas Complexos, e; (iii) Dinâmica de Sistemas.

2.1 Análise Ergonômica do Trabalho

A Análise Ergonômica do Trabalho (AET), segundo Másculo e Vidal (2011), trata-se de um método estruturado de natureza global e sistêmica para análise

ergonômica das atividades desenvolvidas pelas pessoas nas organizações. O seu objetivo principal é a transformação do trabalho mediante a estruturação de um diagnóstico e o desenvolvimento de proposições que: impactem positivamente na saúde dos operadores; otimizem as condições para desenvolvimento das atividades, e; contribuam com os objetivos econômicos das empresas (Guérin, 2001; Másculo; Vidal, 2011; Ferreira, 2015).

Sendo proveniente da escola francesa de ergonomia, a principal característica da AET é a ênfase nas situações reais, principalmente nas ações desempenhas pelos operadores no dia a dia das organizações (Wisner, 1995). Com isso, o seu desenvolvimento associa-se diretamente às análises observacionais realizadas pelos pesquisadores, no que tange, por exemplo, as posturas assumidas pelos indivíduos, os instrumentos e equipamentos utilizados, os percursos realizados e os aspectos organizacionais do trabalho (Ferreira, 2015).

Outra característica importante da AET 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 que 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 que existe entre o que é solicitado e como de fato é feito é que a AET busca desenvolver suas análises (Guérin, 2001). Logo, ela pode ser compreendida como um método utilizado pelos pesquisadores para administrar a distância que existe entre o trabalho prescrito (tarefa) e o trabalho real (atividade) (Guérin, 2001; Ferreira, 2015).

O método inicia-se com o entendimento e definição da demanda principal, em seguida deve ser analisado o trabalho prescrito e as condições gerais (físicas e organizacionais) e, posteriormente, investigado o trabalho real. A partir dessas informações, deve-se confrontar o trabalho prescrito com o trabalho real, desenvolver

um diagnóstico acerca das condições identificadas e, por último, apresentar as recomendações ergonômicas (Dos Santos, 1997; Guérin, 2001; Ferreira; Righi, 2009).

Assim, a AET pode ser subdividida 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 ergonômicas podem ser apresentadas como a quinta etapa desse método, ou, podem ser apresentadas na quarta etapa em associação com o diagnóstico (Guérin, 2001).

2.2 Sistemas complexos

Um sistema pode ser considerado complexo quando ele apresenta os seguintes aspectos: grande variedade de objetos (ou subsistemas), com funções específicas e comportamentos não lineares; objetos (ou subsistemas) que estão em constante transformação e são influenciados por eventos imprevisíveis, e; os diferentes objetos (ou subsistemas) apresentam constante interação entre si (Iarozinski, 2001; Leite, 2004).

Para Stearman (2000), a complexidade surge porque os sistemas apresentam: comportamento dinâmico; objetos (ou subsistemas) fortemente relacionados; ciclos fechados de causa e efeito, e; comportamento adaptativo.

Os sistemas produtivos, em decorrência das constantes interações entre os fatores organizacionais (por exemplo, estrutura disponibilizada, turno de trabalho e metas produtivas), fatores humanos (por exemplo, carga de trabalho, fadiga, tomada de decisão e erro) e os recorrentes problemas produtivos (por exemplo, quedas de produtividade e retrabalho), configuram-se como sistemas complexos (Bouloiz *et al.*, 2013; Farid; Neumann, 2020; Shire; Jun; Robinson, 2020).

O estudo de Mattos *et al.* (2019), por exemplo, mostrou como uma linha de produção (unidade produtiva) apresentou comportamentos não previstos ao longo do tempo, decorrentes da interação de diferentes fatores, como: o tempo de ciclo; número de trabalhadores existentes; subdivisão da tarefa; nível de aprendizado do trabalhador; nível de habilidade do trabalhador, e; movimentos realizados.

As características desse tipo de sistema demandam que sejam utilizadas técnicas para facilitar a análise. Segundo Martinelli (2012), a decomposição e a abstração configuram-se como técnicas importantes. Enquanto a primeira busca

subdividir a complexidade em problemas menores, que tendem a ter resolução mais simples; a segunda refere-se à capacidade de capturar apenas os elementos que são importantes para o entendimento dos sistemas (Martinelli, 2012).

Segundo Smith, Bar-Tam e Gerlbart (2001), essas técnicas são importantes mecanismos que auxiliam na descrição da complexidade, objetivando análises determinísticas. Entretanto, a abordagem determinística, que se concentra na análise de eventos que aconteceram em um período de tempo específico, não absorve as interações dinâmicas e os efeitos da imprevisibilidade que acontecem nesses sistemas (Macau, 2002; Martinelli, 2012).

Assim, os sistemas complexos devem ser analisados a partir de métodos ou abordagens que consigam compreender as relações dinâmicas existentes e, principalmente, que absorvam o comportamento dos diferentes subsistemas; e como a interação entre eles impacta no desempenho global ao longo do tempo (Macau, 2002; Martinelli, 2012).

Como eles seguem um comportamento não linear, as análises tornam-se mais eficientes quando as dinâmicas das interações e as variações existentes ao longo do tempo são compreendidas (Ibrahim Shire; Jun; Robinson, 2018; Macau, 2002; Martinelli, 2012). Essa premissa se estende as análises ergonômicas realizadas nesses ambientes, que se tornam mais consistentes, coerentes com a realidade e dão maior suporte para tomada de decisão quando compreendem o comportamento das interações ao longo do tempo (Salmon *et al.*, 2017; Lucas *et al.*, 2022).

A seguir apresenta-se a Dinâmica de Sistemas (DS), método que pode ser utilizado para análise dos sistemas complexos.

2.3 Dinâmica de Sistemas

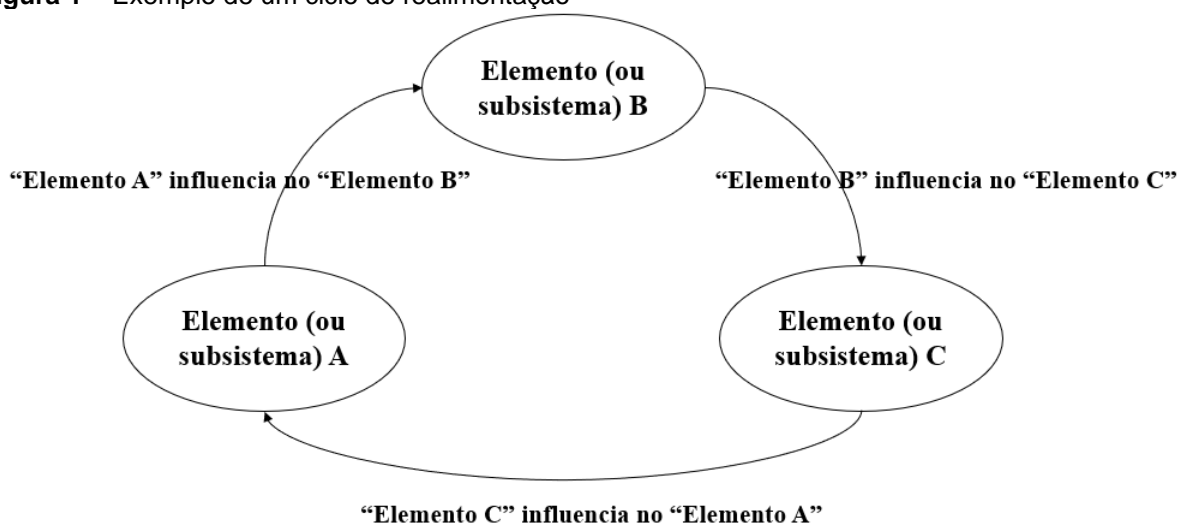
A Dinâmica de Sistemas (DS), que foi desenvolvida por Jay Forrester no Massachusetts Institute of Technology (MIT) na década de 1950, é um método utilizado para desenvolver e testar modelagens acerca de sistemas dinâmicos complexos (Stearman, 2000).

Stearman (2000) explica que o comportamento complexo desses sistemas é mais decorrente das interações entre os elementos do sistema, do que da complexidade inerente a cada um dos elementos. Esse processo interacional dentro

dos sistemas decorre da causalidade, que é caracterizada pelo impacto concomitante da alteração de um elemento em outros elementos.

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). Para exemplificá-los, considere um sistema composto de três elementos (Figura 1). O ciclo de realimentação ocorre quando o “Elemento A” influencia no “Elemento B”, que influencia no “Elemento C”, que por sua vez influencia no “Elemento A”. Esses ciclos fechados de causalidade, como exemplificados na Figura 1, impactam diretamente no comportamento global do sistema (Stearman, 2000).

Figura 1 – Exemplo de um ciclo de realimentação



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

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).

Além dos ciclos de realimentação (feedback), os estoques e fluxos são outros dois conceitos importantes na DS. Os estoques, que são acumulações de uma variável específica, caracterizam o estado do sistema e geram as informações que auxiliam na tomada de decisão (Stearman, 2000). Os fluxos, por sua vez, são atividades (elementos ou variáveis) que impactam diretamente no estoque, acarretando na redução ou crescimento do quantitativo acumulado.

A aplicação do método 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.

A seguir detalha-se duas dessas atividades: (i) diagrama de enlace causal, e; (ii) diagrama de fluxos e estoques.

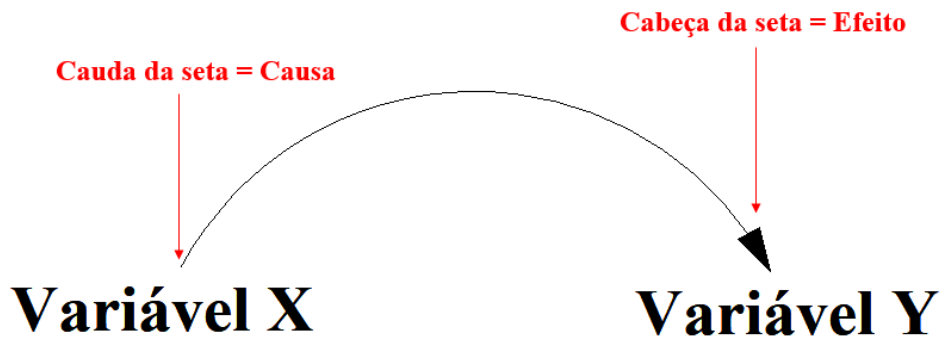
2.3.1 Diagrama de Enlace Causal

Os Diagramas de Enlace Causal (DEC), também chamados de Diagramas de Loop Causal (DLC), 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).

Esses diagramas são essenciais para a DS, pois, como são ferramentas flexíveis, permitem a descrição e compreensão dos diferentes tipos de sistemas, dos simples aos complexos (Stearman, 2000). Em função disso, a efetiva aplicabilidade da DS associa-se diretamente à construção precisa de um DEC (Coyle, 1996).

Para construção do DEC, torna-se importante conhecer algumas características. Inicialmente, 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 Figura 2 apresenta a exemplificação gráfica.

Figura 2 – Exemplificação do relacionamento entre as variáveis no DEC

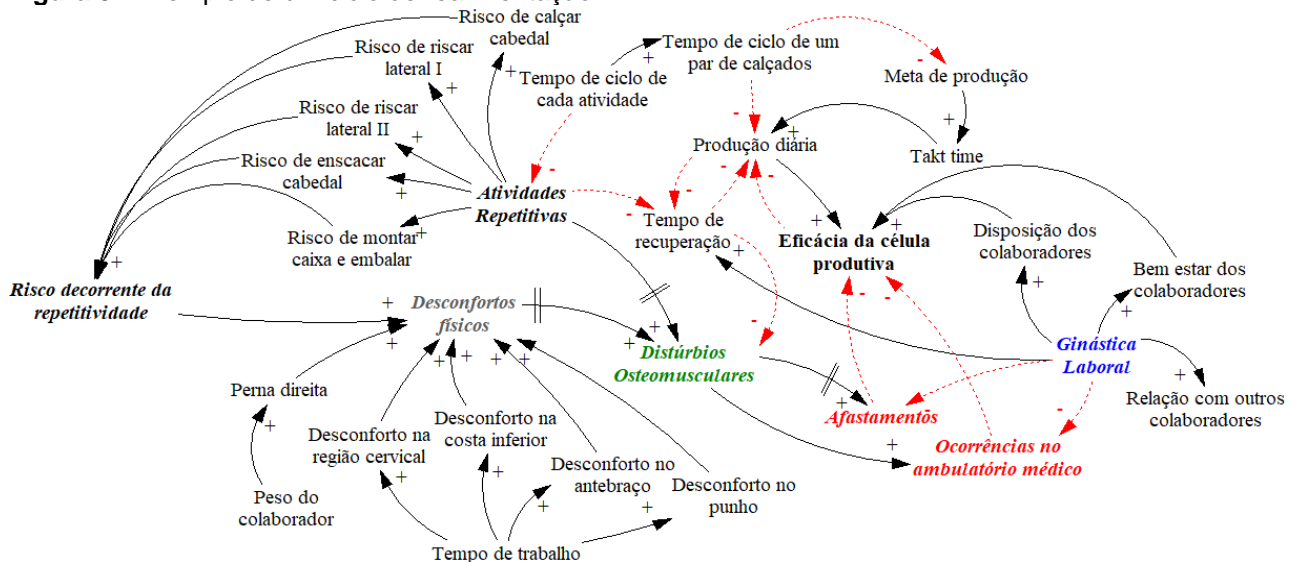


Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

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 3 exemplifica um DEC com os aspectos supracitados.

Figura 3– Exemplo de um ciclo de realimentação



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

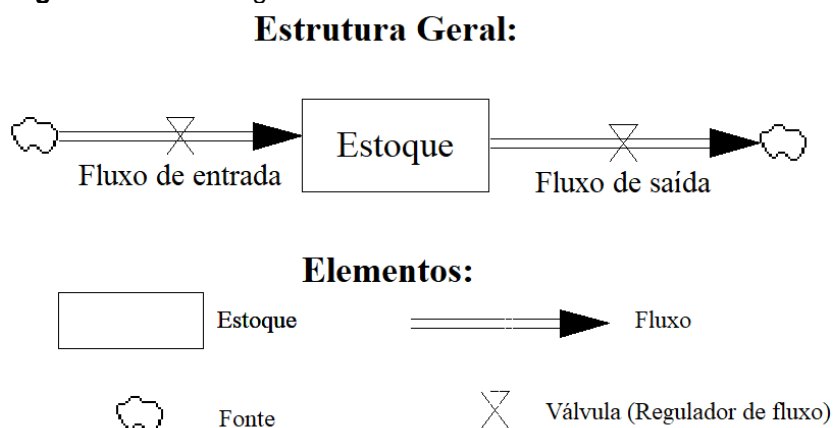
2.3.2 Diagrama de Fluxos e Estoques

O Diagrama de Fluxos e Estoques (DFE), que é considerado a vertente quantitativa da DS, possibilita a construção de uma modelagem quantitativa a partir de equações matemáticas (Stearman, 2000). Segundo Coyle (1996), são essas equações que possibilitam representar as relações causais e, principalmente, simular as condições reais de um sistema complexo.

A simulação é estruturada no comportamento das variáveis à medida que o tempo passa, em que a base matemática é alicerçada nos conceitos de estoque e fluxo (Bouloiz *et al.*, 2013). Os estoques, também chamados de níveis, representam as quantidades conservadas no sistema (estados do sistema), por exemplo: quantidade de produtos armazenados, quantidade de produtos defeituosos ou número de trabalhadores afastados. Os fluxos, também chamados de taxas, são as variáveis que alteram as quantidades conservadas no sistema (Coyle, 1996).

A Figura 4 apresenta os elementos gráficos que são utilizados no DFE. Os retângulos representam os estoques. Os fluxos são representados por setas, sendo subdivididos em fluxos de entrada (aumentam o estoque) e fluxos de saída (diminuem o estoque). As válvulas são os elementos que regulam a intensidade dos fluxos. Enquanto as nuvens representam as fontes, que são estoques originados fora dos limites do sistema (Stearman, 2000). A estrutura de todas as modelagens de DFE apresentam esses elementos e seguem a estrutura geral também apresentada na Figura 4.

Figura 4– Estrutura geral e os elementos do DFE



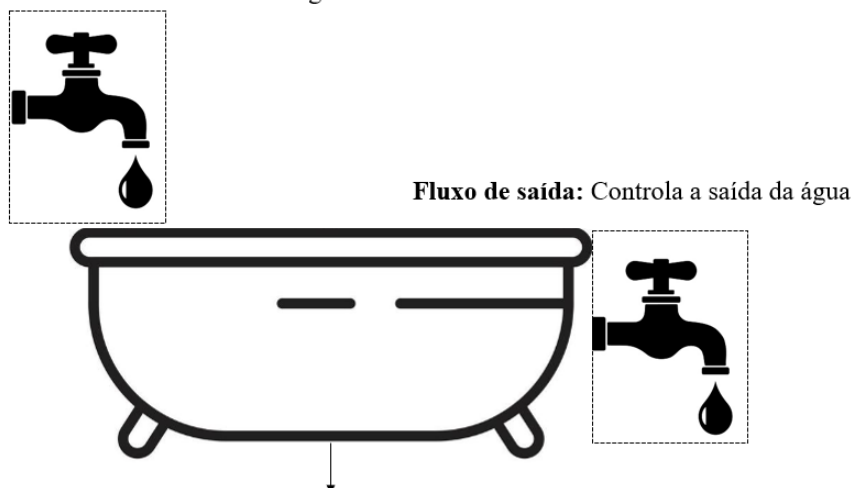
Fonte: Stearman (2000).

Como a modelagem visa compreender o comportamento do sistema ao longo do tempo, a base matemática do método consiste no conjunto de equações diferenciais e integrais, partindo do pressuposto que o estoque é resultante do fluxo de entrada menos o fluxo de saída (Stearman, 2000).

Para compreender esse aspecto matemático da DS, apresenta-se o exemplo de Stearman (2000). Conforme mostra a Figura 5, o estoque pode ser compreendido como um reservatório de água. A quantidade de água existente vai ser o que incide pela torneira (fluxo de entrada) menos o que sai pelo ralo (fluxo de saída). Como existem variações nos fluxos ao longo do tempo, a quantidade de água existente no reservatório também sofre alterações.

Figura 5– Exemplificação dos fluxos em um estoque

Fluxo de entrada: Controla a entrada da água



Fluxo de saída: Controla a saída da água

Reservatório de água = Fluxo de entrada – Fluxo de saída

Fonte: Stearman (2000).

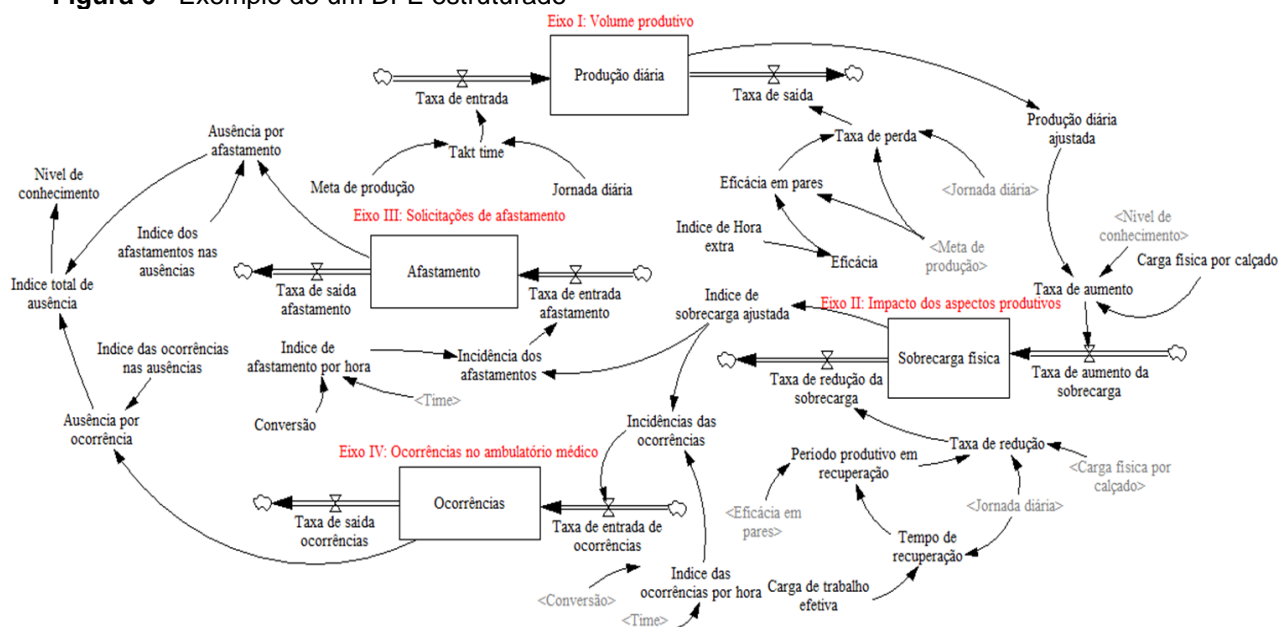
Adentrando no aspecto matemático a partir desse exemplo de Stearman (2000), considera-se que as equações integrais existem porque os estoques são resultantes de equações que integram os fluxos de entrada e de saída (Equação 1); enquanto as equações diferenciais são decorrentes da taxa de variação (fluxo de entrada menos o fluxo de saída) (Equação 2).

$$\text{Estoque} = \int_{t_0}^t [\text{Fluxo de entrada (t)} - \text{Fluxo de saída (t)}] ds + \text{Estoque (t}_0) \quad (1)$$

$$\frac{d(\text{Estoque})}{dt} = \text{Fluxo de entrada (t)} - \text{Fluxo de saída (t)} \quad (2)$$

Por último, a Figura 6 exemplifica como se estrutura graficamente um Diagrama de Fluxos e Estoques (DFE), que é considerado a vertente quantitativa da Dinâmica de Sistemas (DS).

Figura 6– Exemplo de um DFE estruturado



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

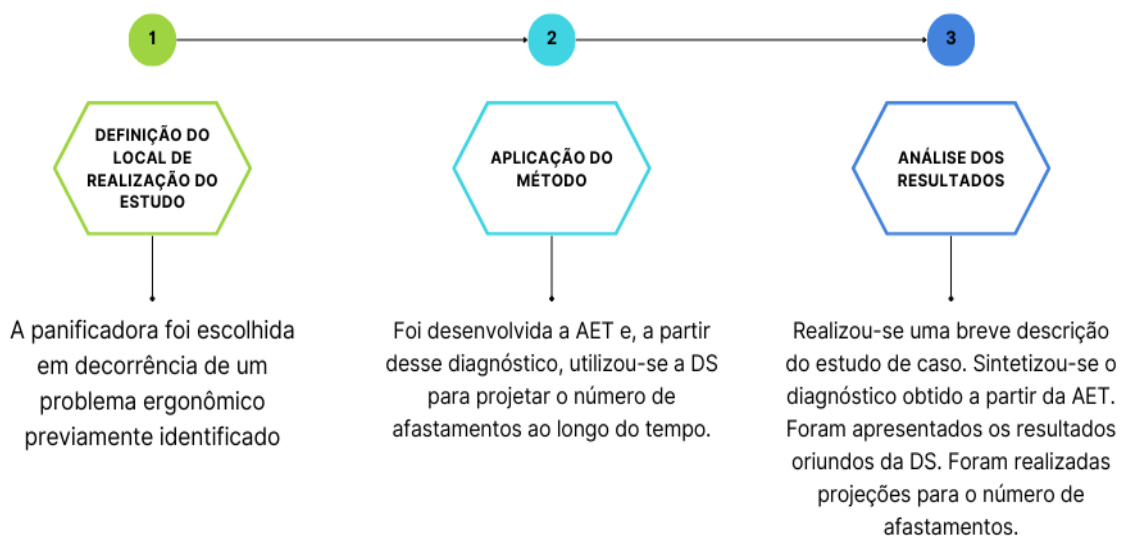
O desenvolvimento da pesquisa seguiu um processo composto por três etapas, conforme mostra a Figura 7. Inicialmente, foi definido o local de realização do estudo. A panificadora foi escolhida em decorrência de um problema ergonômico previamente identificado: incidência de afastamentos em decorrência de problemas osteomusculares após modificações no posto de trabalho utilizado para fabricação do pão. Isso atendia aos critérios estabelecidos pelos pesquisadores para escolha do local de estudo, cujo embasamento centrava-se em problemas decorrentes do adoecimento profissional em função de uma possível sobrecarga física do trabalhador.

A segunda etapa consistiu na aplicação do método, que englobou duas vertentes de análise. Inicialmente foi desenvolvida a AET e, a partir desse diagnóstico, utilizou-se a DS para projetar o número de afastamentos ao longo do tempo. Os procedimentos utilizados nessa etapa estão descritos no tópico posterior.

A última etapa consistiu na análise dos resultados. Em um primeiro momento, realizou-se uma breve descrição do estudo de caso. Em seguida, sintetizou-se o

diagnóstico obtido a partir da AET. Posteriormente, foram apresentados os resultados oriundos da DS. Na sequência, foram realizadas projeções para o número de afastamentos. Para finalizar, foi discutido como os resultados oriundos da AET e da DS se complementavam e, de maneira conjunta, impactavam na análise das condições existentes.

Figura 7– Etapas para desenvolvimento do estudo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

3.1 Descrição do método

O método tem base na Análise Ergonômica do Trabalho (AET), apresentando como complemento para a análise da atividade, a metodologia de Dinâmica de Sistemas (DS). A DS atende a análise de contextos complexos mesmo com fatores abstratos. Como o diagnóstico da AET pode apontar fatores com essa característica, como é o caso da sobrecarga do trabalhador, a DS foi utilizada após o diagnóstico inicial.

Assim, com a linguagem versátil para a compreensão sistêmica e a simulação do comportamento provida pela Dinâmica de Sistemas, objetivou-se evoluir o diagnóstico da AET para uma compreensão mais completa da dinâmica existente.

3.1.1 Análise Ergonômica do Trabalho (AET)

Utilizou-se a AET para compreender as condições de realização da atividade, a qual é alicerçada em cinco etapas: (i) análise da demanda; (ii) análise da tarefa; (iii) análise da atividade; (iv) diagnóstico e (v) recomendações (Guérin *et al.*, 2007).

Nesta pesquisa, a análise da demanda teve ênfase no número de afastamentos, situação apresentada como o problema principal por parte da empresa. Os gestores identificaram que o padeiro responsável pela fabricação do pão solicitou três afastamentos em decorrência de desconfortos físicos no período de trinta dias.

Os gestores relataram que a incidência dos afastamentos aconteceu após o setor produtivo ter sido remodelado. Com o objetivo de aumentar a eficiência, o arranjo físico foi modificado e algumas máquinas e ferramentas foram substituídas. Assim, o profissional estava diante de um novo contexto laboral.

Diante dessa demanda, realizou-se a identificação das tarefas, que consiste na prescrição das atividades que precisam ser realizadas. Para auxiliar nesse processo, a organização disponibilizou um fluxograma detalhado, que foi digitalizado e posteriormente analisado.

Em seguida, analisou-se a atividade, que é o trabalho efetivamente realizado pelos trabalhadores. O objetivo dessa etapa foi observar o processo de execução. Para isso, foram realizadas seis observações diretas com média de três horas cada. De maneira complementar, os movimentos realizados durante os ciclos produtivos foram filmados.

Para gerar um diagnóstico preciso foram aplicados alguns métodos. Utilizou-se o *Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS) e o *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA), que são indicados para identificar e avaliar as posturas inadequadas durante a execução de uma tarefa (Gangopadhyay *et al.*, 2010; Kee, 2020).

Utilizou-se o Questionário Nórdico, que é recomendado para identificação de sintomas musculoesqueléticos (Ghasemkhani; Mahmudi; Jabbari, 2015), para avaliar os segmentos corporais em que o profissional apresentava desconfortos. Em paralelo, também foi identificado o percentual de desgaste físico ao longo da jornada diária de trabalho.

Para este artigo, os dados apresentados da AET nos resultados referem-se às etapas de atividade e diagnóstico, sem prejuízo a análise do leitor. Ressalta-se que a empresa autorizou a pesquisa mediante Termo de Anuência (TA) e o profissional respondeu aos questionamentos dos pesquisadores após assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

3.1.2 Dinâmica de Sistemas (DS)

O diagnóstico obtido a partir da AET serviu como suporte para desenvolvimento do Diagrama de Enlace Causal (DEC). Esse diagrama qualitativo, desenvolvido no Software Vensim PLE versão 8.1.0, indicou apenas como as variáveis estavam se relacionando.

A partir dessas informações desenvolveu-se o Diagrama de Fluxos e Estoques (DFE), que utiliza o aspecto quantitativo para compreender os relacionamentos existentes. A modelagem computacional básica foi desenvolvida para retratar as condições laborais identificadas mediante AET e representadas qualitativamente mediante DEC. Para isso, utilizou-se o método de integração de Euler e trabalhou-se com um universo temporal de oito horas, referente a uma jornada diária.

Com relação aos aspectos produtivos, estabeleceu-se a meta diária de 3600 pães. Esse valor foi definido após análise do histórico produtivo nos últimos trinta dias, em que se observou os quantitativos e identificou-se esse padrão. Para o número de afastamentos, o modelo básico contemplou as três solicitações que aconteceram nos últimos trinta dias. Assim, o modelo básico, que abrangia o universo temporal de oito horas ou uma jornada diária, deveria apresentar um número de afastamentos equivalente a três afastamentos no período de trinta dias.

As condições laborais que compuseram o modelo básico foram denominadas de Cenário 1. As variáveis, unidades e equações matemáticas utilizadas estão detalhadas no Apêndice A.

A partir desse modelo básico, o DFE permite que sejam realizadas simulações, mediante alterações nos parâmetros das variáveis. Assim, foram realizadas outras duas simulações a partir de alterações na meta de produção diária (Cenários 2 e 3).

O Cenário 2 foi utilizado para representar o crescimento da demanda, em que a meta de produção fica no entorno de 5000 pães, ampliando a exigência física do

trabalhador. O Cenário 3 foi utilizado para representar a queda da demanda, em que a meta da produção fica no entorno de 2000 pães, diminuindo a exigência física do trabalhador.

As metas estabelecidas para os cenários simulados foram definidas após a análise do histórico produtivo da empresa. Os dados mostraram que as situações produtivas críticas, isto é, quando as metas de produção são elevadas, acontecem para valores próximos do estabelecido no Cenário 2, enquanto que situações menos prováveis, em que a meta de produção cai consideravelmente, acontecem para valores próximos do estabelecido no Cenário 3. O Quadro 1 traz uma síntese dos cenários propostos.

Quadro 1 – Cenários propostos

Cenários	Meta de produção	Justificativa
Cenário 1	3600 pães	Esse valor foi definido após análise do histórico produtivo nos últimos trinta dias, em que se observou os quantitativos e identificou-se esse padrão.
Cenário 2	5000 pães	Crescimento da demanda, em que a meta de produção fica no entorno de 5000 pães, ampliando a exigência física do trabalhador.
Cenário 3	2000 pães	Queda da demanda, em que a meta da produção fica no entorno de 2000 pães, diminuindo a exigência física do trabalhador.

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O objetivo dessas simulações, também realizadas no Software Vensim PLE versão 8.1.0, foi traçar um panorama mais preciso da relação entre meta diária de produção, condições de trabalho, desgaste físico e número de afastamentos. Como foi definido o universo temporal de oito horas, que é referente a uma jornada diária, os resultados disponibilizados pela simulação referem-se a esse período. Neste artigo, os resultados das simulações têm ênfase no desgaste físico e número de afastamentos.

A partir dos resultados disponibilizados pela simulação, foi realizada a projeção para o número de afastamentos. Primeiro, projetou-se o número de afastamento para o período de 30 e 100 dias. Para isso, multiplicou-se o número de afastamentos encontrado para cada um dos cenários pelo número de dias.

Também foi projetado o número de afastamentos para o período de 365 dias. Para isso, analisou-se o histórico produtivo dos últimos 365 dias e identificou-se a prevalência das metas de produção. Isto é, o número de dias (N) em que a empresa trabalhou com cada cenário produtivo (Cenário 1=3600 pães; Cenário 2=5000 pães e Cenário 3=2000 pães). Em seguida, multiplicou-se o N pelo respectivo número de afastamentos encontrado para cada cenário.

A partir disso, tornou-se possível realizar a análise dos resultados encontrados.

4 RESULTADOS

Apresentou-se de maneira objetiva uma descrição do ambiente de trabalho analisado. Em seguida, os resultados obtidos mediante a Análise Ergonômica do Trabalho (AET). Posteriormente, o Diagrama de Enlace Causal (DEC) e o Diagrama de Fluxos e Estoques (DFE). Finalizando, com a projeção de cenários futuros para o número de afastamentos.

4.1 Ambiente analisado

O estudo foi desenvolvido em uma panificadora localizada no nordeste do Brasil, que atua no âmbito regional, fornecendo produtos para pessoas físicas e jurídicas. Com produção própria, suas estratégias são voltadas para fabricação de produtos de padaria e confeitaria.

A análise foi realizada no setor de produção do pão, que possuía 81 m². A circulação do ar no ambiente era provida por três exaustores de calor e por duas janelas localizadas no fundo do ambiente. As máquinas e equipamentos estavam dispostos seguindo a sequência lógica do processo, em que os principais processos eram: (i) maseira; (ii) cilindro; (iii) divisora; (iv) remodeladora; (v) forno e; (vi) mesa de corte.

Nesse setor trabalhava apenas um profissional, que era responsável pelo processo e atuava na empresa há mais de 15 anos, possuindo mais de 30 anos de experiência na profissão. Ele tinha 52 anos de idade, 1.68 metros de altura e 74 quilogramas. Esse profissional precisou se afastar do trabalho em decorrência de problemas osteomusculares, que aconteceram após remodelação do posto de trabalho.

4.2 Análise Ergonômica do Trabalho (AET)

Conforme descrito nos aspectos metodológicos, este tópico será sintetizado em atividade e diagnóstico, apresentados juntos, abordando os principais achados que determinam o comportamento do sistema em análise pela AET.

A atividade iniciava com o profissional separando todos os ingredientes e os deixando em zonas acessíveis. Após isso, ela seguia um fluxo composto por seis etapas. Na primeira, o profissional inclinava a coluna, recolhia toda a matéria prima e colocava na masseira para formação da massa. Finalizado esse processo, ele se direcionava ao cilindro, onde inclinava a coluna e aplicava força no sentido horizontal para deixá-la lisa. Após isso, o profissional realizava um processo de corte e pesagem. Na quarta etapa, ele aplicava força no sentido vertical para que a máquina divisora separasse a massa. Posteriormente, ele a pegava, inclinava a coluna e a colocava na remodeladora, que era responsável por definir o formato tradicional do pão francês. Por último, ele pincelava os pães, erguia os braços e os direcionava ao forno. Repetia-se esse último movimento para retirada dos produtos prontos.

A partir da análise descrita no parágrafo anterior, tornou-se possível desenvolver o diagnóstico. Com relação ao aspecto ambiental, observou-se que o local detinha uma boa estrutura física e um fluxo produtivo lógico. Além disso, existia um vasto repertório de ferramentas devidamente alocadas no espaço. Esses fatores refletiram na boa organização do arranjo físico, que possibilitava ao profissional uma livre circulação.

Apesar de toda essa estrutura, o principal recurso utilizado era o corpo humano, pois as atividades do processo eram dependentes dos movimentos realizados por ele. Assim, a quantidade de movimentos realizados influenciava diretamente no tempo de ciclo do processo.

Como a quantidade diária de pães fabricados era dependente do número de ciclos produtivos, o aumento da demanda repercutia na ampliação da quantidade de movimentos necessários. Com isso, identificou-se que o aumento no número de ciclos também influenciava no aumento da fadiga.

Assim, diagnosticou-se que o trabalhador perseguia uma meta produtiva ao longo do dia. Essa meta estabelecia um ciclo informal de trabalho. Como o ciclo era rápido e demandava repetição de movimentos estereotipados, existia um desgaste

físico do trabalhador conforme sua jornada se alongava. A demanda do mercado dificultava a realização de pausas, e, conseqüentemente, a recuperação fisiológica. Isso determinava uma situação favorável ao desenvolvimento de doenças e afastamento do trabalhador. Com o afastamento existia a necessidade de contratação de diaristas, sem a mesma experiência na tarefa, o que causava um acúmulo da demanda ciclicamente.

Em virtude do exposto anterior, é compreensível que ao final da jornada diária exista um desgaste físico. Associado a isso, as observações também trouxeram indícios de que algumas posturas poderiam ser potencialmente nocivas, conforme exemplifica a Figura 8. A combinação desses dois fatores merece ser levado em consideração, pois a repetição de atividades ergonomicamente inadequadas associada ao desgaste físico diário pode trazer malefícios no longo prazo.

Figura 8 – Exemplo de posturas assumidas



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O cenário levantado anteriormente foi corroborado pelos resultados oriundos das ferramentas OWAS e RULA. As duas indicaram que as atividades realizadas na masseira e divisora eram críticas e necessitavam de mudanças imediatas. Como o fluxo produtivo é repetido algumas vezes durante a jornada diária, torna-se importante considerar esses resultados.

Além disso, analisou-se a compreensão do trabalhador acerca de sua atividade. Ele indicou maiores desconfortos na parte inferior das costas, pescoço e ombro direito. Além disso, informou que o desgaste físico iniciava no meio da jornada, aumentando gradativamente até o final do expediente. Com isso, observou-se um

alinhamento entre esses resultados e os diagnósticos apresentados pelas ferramentas de análise ergonômica.

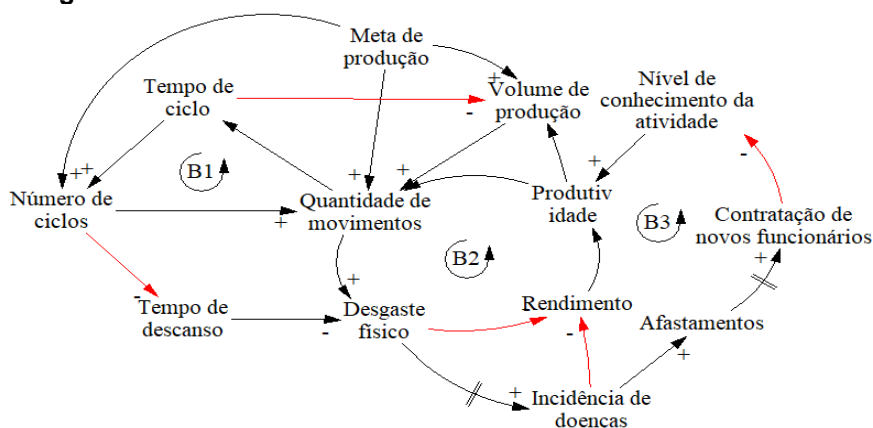
4.3 Diagrama de Enlace Causal (DEC)

O diagnóstico apresentado anteriormente serviu como base para o desenvolvimento do DEC. A Figura 9 mostra três loops de balanço. O primeiro, representado por B1, indica que o tempo de ciclo influenciava diretamente no número de ciclos, que por sua vez influenciava na quantidade de movimentos realizados durante a jornada diária. Como a atividade era diretamente influenciada pelo corpo físico, a quantidade de movimentos realizados repercutia, conseqüentemente, no tempo de ciclo.

O segundo loop, representado por B2, indica que a quantidade de movimentos influenciava no desgaste físico, que por sua vez influenciava no rendimento do profissional. Quando existia o comprometimento do rendimento, existia um reflexo na produtividade. Diante da queda da produtividade, tornava-se necessário aumentar o número de movimentos diários para atingir a meta previamente estabelecida.

O terceiro loop, representado por B3, é o mais amplo. Observa-se que o volume de produção influenciava na quantidade de movimentos realizados. Esses movimentos se relacionavam com o desgaste físico, que ocasionavam doenças laborais e posteriormente afastamentos. Com isso, tornava-se necessário contratar diaristas, que apresentavam menor domínio das peculiaridades do processo. Isso repercutia na produtividade e, conseqüentemente, no volume produtivo.

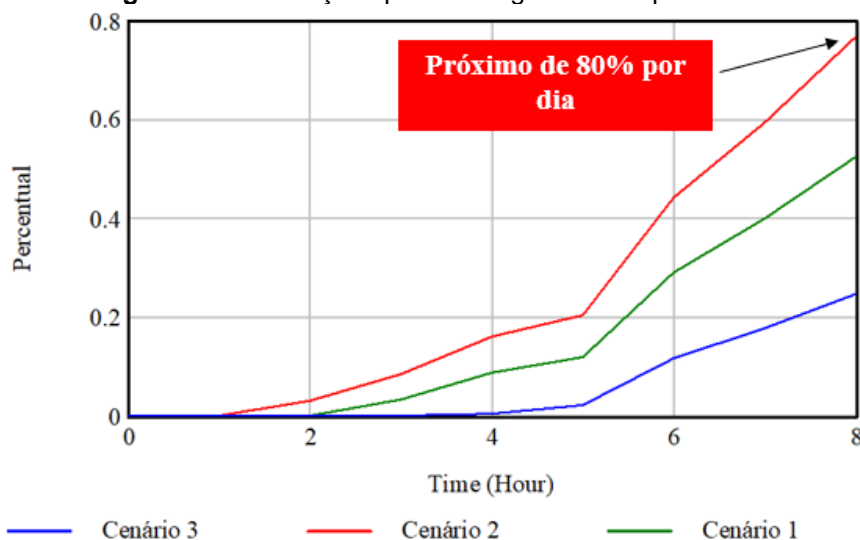
Figura 9 – DEC



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 2, e-5150, 2024.

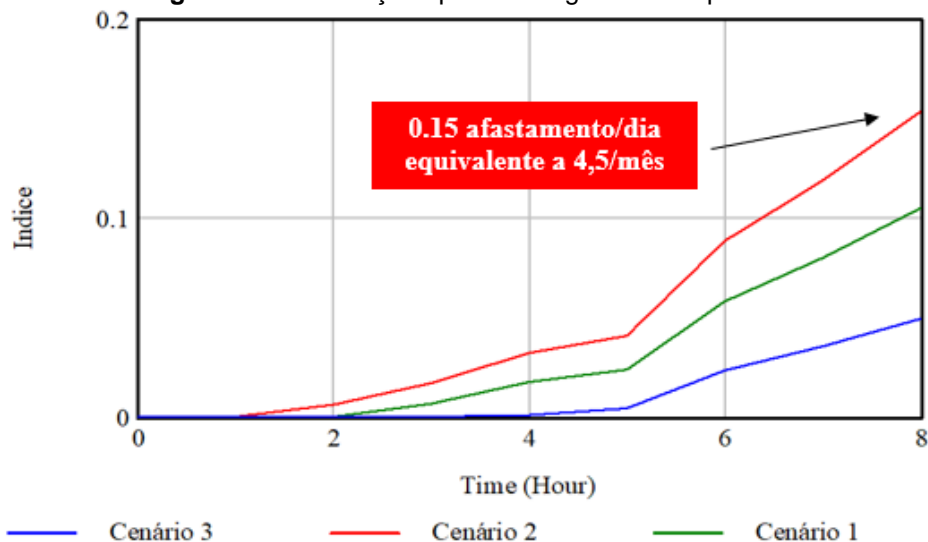
Figura 11– Simulações para o desgaste físico por dia



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A Figura 12 apresenta os valores obtidos para o número de afastamentos ao final de uma jornada diária. A análise dos resultados mostrou para o Cenário 1 que o índice foi de 0.1. Para o Cenário 2, o índice foi de 0.15. Por outro lado, identificou-se para o Cenário 3 que o índice foi pouco inferior a 0.05.

Figura 12 – Simulações para o desgaste físico por dia



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

4.5 Projeção para o número de afastamentos

Os números de afastamentos apresentados anteriormente ficam mais claros quando são feitas projeções. A Tabela 1 as apresenta para 30 e 100 dias. No Cenário 1, como indicado pela empresa e estabelecido como padrão no modelo, três afastamentos aconteceram em 30 dias. Caso fosse feita uma projeção para 100 dias, o número de afastamentos subiria para dez.

No Cenário 2, a projeção para 30 dias indicou que aconteceriam aproximadamente cinco afastamentos. Quando se amplia para 100 dias, o número de afastamentos seria de 15. No Cenário 3, a projeção para 30 dias indicou que aconteceriam aproximadamente dois afastamentos. Quando se amplia para 100 dias, o número de afastamentos seria de cinco.

Tabela 1 – Projeção para um, 30 e 100 dias

Cenários	Número de afastamentos em um dia	Número de afastamentos em trinta dias	Número de afastamentos em 100 dias
Cenário 1	0.1	3	10
Cenário 2	0.15	4,5	15
Cenário 3	0.05	1,5	5

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Esses números também podem ser analisados com projeções baseadas no volume produzido pela empresa no período de 1 ano. Nesse período, em aproximadamente 60% dos dias, a empresa trabalhou próxima do Cenário 1; em outros 35% dos dias próxima do Cenário 2; e apenas 5% dos dias próxima do Cenário 3.

Para uma situação similar a essa, conforme mostra a Tabela, existiriam ao longo de uma jornada anual o número total de 35 afastamentos. O Cenário 1 seria responsável por 18 deles; o Cenário 2, por 16 deles e o Cenário 3 por apenas um afastamento.

Tabela 2 – Projeção para o período de 1 ano

Cenários	Percentual de dias por ano	Número de dias trabalhados por ano	Número de afastamentos em um dia	Número de afastamentos por ano
Cenário 1	60%	181	0.1	18
Cenário 2	35%	105	0.15	16
Cenário 3	5%	15	0.05	1
Total	100%	301	0.1	35

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

5 DISCUSSÃO

Na literatura científica é possível encontrar trabalhos que analisam como as condições da atividade se relacionam com o desgaste físico, sobrecarga física e/ou o número de afastamentos no setor de panificação (Mehrizi *et al.*, 2014; Vasconcelos *et al.*, 2015; Lucas, 2022). Entretanto, conforme indica Joudakinia *et al.* (2020), existe uma demanda por estudos que utilizem uma abordagem metodológica que abranja, conjuntamente, os aspectos qualitativos e quantitativos.

Diante dessa demanda, a abordagem metodológica adotada nesta pesquisa, que foi alicerçada pela utilização da AET e complementada mediante utilização da DS, tornou-se importante, pois evidenciou como resultados quali-quantitativos podem auxiliar diretamente no processo decisório acerca de intervenções ergonômicas. Ademais, ressalta-se ainda que ela não foi identificada em outros estudos ergonômicos realizados na indústria alimentícia, incluindo, também, o setor de panificação (Lucas, 2022).

Com relação a AET especificamente, que é uma metodologia consolidada e amplamente conhecida, ela cumpriu seu importante papel e possibilitou: (i) compreender holisticamente o ambiente laboral do profissional responsável pela fabricação do pão francês e; (ii) identificar como as variáveis envolvidas no contexto laboral estavam se relacionando. Isso alinha-se a outros estudos, como o desenvolvido por Mattos (2020), que evidenciou como a AET foi importante no desenvolvimento de uma análise ergonômica mais ampla.

Entretanto, a panificadora não trabalhava sempre com a mesma demanda. Em virtude disso, o desgaste físico do trabalhador tendia a variar de acordo com a quantidade de trabalho programada. Assim, o desenvolvimento dos diferentes cenários para o número de afastamentos a partir da DS, baseado nas informações

oriundas da AET, permitiu uma análise mais consistente dessa problemática analisada neste artigo.

As projeções mostraram, por exemplo, que a ampliação da demanda influenciava diretamente no desgaste físico e, conseqüentemente, no número de afastamentos. Para demandas mais baixas essa influência era menor. Esses apontamentos ganharam mais robustez quando avaliados e evidenciados numericamente. Isso torna-se importante, pois, conforme indica Lucas (2022), os dados quantitativos auxiliam no convencimento dos gestores sobre a importância de otimizar as condições laborais.

Projetando o volume produtivo para o período de 1 ano, observou-se que a empresa trabalhou com uma produção diária de aproximadamente 3600 pães na maior parte do tempo; em menor escala, trabalhou com aproximadamente 5000 pães; e raramente trabalhou com uma produção de 2000 pães. As projeções para um cenário similar a esse indicaram que poderiam acontecer 35 afastamentos.

Esse número desperta o alerta para as condições de realização da atividade. Além disso, complementa, a partir de uma projeção quantitativa, os achados levantados inicialmente pela AET. Com isso, têm-se mais subsídios para inferir duas coisas: (i) as condições existentes estavam comprometendo a saúde física do trabalhador e; (ii) as condições existentes estavam influenciando no número de afastamentos.

Essa amplitude informacional disponibilizada pelo método, que trouxe uma maior capacidade analítica acerca das condições existentes, permitiu superar as limitações que os métodos ergonômicos possuem em analisar os sistemas diante de alterações nos parâmetros das variáveis (Salmon *et al.*, 2017; Farid; Neumann, 2020).

A importância da combinação de uma abordagem eminentemente qualitativa com uma quantitativa – como a adotada nesta pesquisa - também foi observada no trabalho desenvolvido por Mattos *et al.* (2019), pois ela possibilitou aos pesquisadores uma análise mais robusta e precisa da relação entre absenteísmo, originado a partir de doenças/lesões, com outras variáveis inerentes ao processo produtivo de uma linha de montagem pertencente a uma fábrica de componentes elétricos automotivos.

6 CONCLUSÕES

As condições laborais do setor de produção da panificadora apresentavam riscos para saúde do profissional. A combinação entre a alta exigência produtiva e condições ergonômicas inadequadas, principalmente em duas atividades, pode ser entendida como a principal causa dos afastamentos. Entretanto, é importante pontuar que esse cenário só ficou claro em decorrência da abordagem metodológica utilizada.

Ela se caracterizou por uma abordagem dupla, mediante união da AET com a DS, possibilitando uma análise mais ampla da problemática analisada. A importância da AET foi notória, entretanto, quando se utilizou suas informações para o desenvolvimento de projeções futuras, como foi o caso deste artigo, o entendimento da situação tornou-se mais preciso.

Dessa forma, a principal contribuição deste trabalho foi apresentar como essa abordagem pode ser benéfica para as análises ergonômicas no setor de panificação. Entretanto, essas contribuições não se restringem exclusivamente a esse setor, pois complementar os achados da AET com projeções futuras a partir da DS, é um procedimento metodológico passível de aplicação em outros ambientes produtivos.

Diante disso, observa-se que, além da capacidade de gerar uma análise mais consistente, ainda existe um vasto campo para aplicação da união entre AET e a DS. Assim, sugere-se para estudos futuros a utilização dessa abordagem metodológica em outros ambientes produtivos, como o setor calçadista, por exemplo. Além disso, também é possível fazer projeções envolvendo os custos relacionados aos afastamentos, que tendem a auxiliar no convencimento dos gestores acerca dos benefícios das alterações ergonômicas, pois mostram que apesar de custosas em um primeiro momento, elas tendem a trazer retornos positivos no longo prazo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- 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.
- 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.
- CALDEIRA, Jaqueline de Queiroz. **A importância da análise ergonômica do trabalho na contestação da doença ocupacional-estudo de case em um indústria de panificação**. 2021. 39 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.
- MORI, Robson Hideki. **Cosplay: fantasiar e expressar**. Orientadora: Dra. Selma Baptista. 2010. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Sociais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- Coyle, R. G. **System dynamics modelling: a practical approach**. Chapman & Hall, 1996.
- DOS SANTOS, Danielle Furtado; TERRA, Stela Xavier; DOS SANTOS FRANZ, Luis Antonio. Um olhar quanto à exposição a riscos ergonômicos pela ótica dos profissionais da indústria de panificação. **Ergodesign & HCI**, v. 7, n. 1, p. 41-52, 2019.
- 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.
- 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.
- FERREIRA, Leda Leal. Sobre a Análise Ergonômica do Trabalho ou AET. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 40, n. 131, p. 8–11, 2015.
- FINELLI, Leonardo Augusto Couto; SOUZA, Paula Patrícia Rabelo; OLIVEIRA FILHO, Renato César; SOUZA, Wesley Maia de. **Análise ergonômica do setor de produção em uma panificadora**. 2021. <https://dx.doi.org/10.37885/210705377>
- Gangopadhyay, S; Das, B.; Das, T.; Ghoshal, G.; Ghosh, T. An Ergonomics Study on Posture-Related Discomfort and Occupational-Related Disorders Among Stonecutters of West Bengal, India. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, Vol. 16, No. 1(1), 69–79.

Gharibi, V.; Ebrahimi, M. H.; Soleimani, E.; Khanjani, N.; Fakherpour, A.; Hosseinabadi, M. B. The role of oxidative stress in pulmonary function in bakers exposed to flour dust. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, Vol. 28, No. 1, p. 555-561. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1812919>

Ghasemkhani, M.; Mahmudi, E.; Jabbari, H. Musculoskeletal Symptoms In Workers. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, Vol 14(4), 455–462. <https://doi.org/10.1080/10803548.2008.11076784>

GUÉRIN *et al.* **Understanding and transforming work**: the practice of ergonomics. ANACT, Lyon, 2007.

IBRAHIM SHIRE, Mohammed; JUN, Gyuchan Thomas; ROBINSON, Stewart. The application of system dynamics modelling to system safety improvement: Present use and future potential. **Safety Science**, v. 106, p. 104–120, 2018.

Karjalainen, A.; Leppänen, M.; Ruokolainen, J.; Hyttinen, M.; Miettinen, M.; Säämänen, A.; Pasanen, P. Controlling flour dust exposure by an intervention focused on working methods in Finnish bakeries: a case study in two bakeries. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, Vol. 28, p. 1948-1957, 2022. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1943867>

Kee, D. An empirical comparison of OWAS, RULA and REBA based on self-reported discomfort. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, Vol. 26(2), p. 285–295, 2020. <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1710933>

LEITE, Maria Silene Alexandre. **Proposta de uma modelagem de referência para representar sistemas complexos**. 2004. 422f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MACAU, Elbert E N. **Sistemas Complexos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2002. Disponível em: <http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1905/2005/08.04.09.20/doc/complexsys2002d.PDF>. Acesso em: Ago de 2021.

MÁCULO, 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.

MATTOS, Diego Luiz de. **Análise ergonômica do trabalho e dinâmica de sistemas: uma abordagem integrada para previsão de cenários**. 2020. 219f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

READ, Gemma J. M. *et al.* Simulating the behaviour of complex systems: computational modelling in ergonomics. **Ergonomics**, v. 63, n. 8, p. 931–937, 2020.

LUCAS, Ruan Eduardo Carneiro. **Incorporando a Dinâmica de Sistemas à Análise Ergonômica do Trabalho em sistemas laborais complexos e uma aplicação na indústria calçadista**. 2023. 244f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SALMON, Paul M *et al.* Fitting methods to paradigms: are ergonomics methods fit for systems thinking? **Ergonomics**, v. 60, n. 2, p. 194–205, 2017.

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.

SHIRE, Mohammed Ibrahim; JUN, Gyuchan Thomas; ROBINSON, Stewart. Healthcare workers' perspectives on participatory system dynamics modelling and simulation: designing safe and efficient hospital pharmacy dispensing systems together. **Ergonomics**, p. 1044–1056, 2020.

Sterman, J. D. *Business Dynamics-Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill, 2000.

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

Autores

Ruan Eduardo Carneiro Lucas

Graduado e Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal da Paraíba. Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Eugenio Andrés Díaz Merino

Graduado em Desenho Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Diego Luiz de Mattos

Bacharel em Fisioterapia pela Universidade do Oeste de Santa Catarina e em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica do Centro Universitário Internacional. Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina.



Artigo recebido em: 26/01/2024 e aceito para publicação em: 17/05/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i2.5150>

Apêndice A – Variáveis, unidades e equações matemáticas utilizadas na modelagem

Variável	Abreviação	Equação	Unidade
Meta de produção	MP	Constante	Pães
Capacidade do forno	CF	Constante	Pães
Número de lotes	NL	MP/CF	Lotes
Número de horas trabalhadas	NHT	Constante	Horas
Ritmo da produção	RP	NHT/NL	Lotes/hora
Taxa de produção desejada	TPD	1/RP	Lotes/hora
Taxa de produção inicial	TPI	TPD	Lotes/hora
Produção estocada inicialmente	PEI	Constante	Pães
Produção	P	$P = \int_{t_0}^t [TPI - TS] dt + TPI_{t_0}$	Lotes
Taxa de saída	TS	TPH	Lotes/hora
Taxa de perdas em horas	TPH	TP/NHT	Lotes/hora
Taxa de perda	TP	IF THEN ELSE(NV=0, ((PMPP/NL*PER , ((PMPC/NL)*NF))	Percentual
Novos funcionários	NF	NA*NMDA	Adimensional
Percent	PER	Constante	Percentual
Produção média Perdida pelo contratado	PMPC	Constante	Lotes
Produção média perdida pelo padeiro	PMPP	Constante	Lotes
Taxa de produção	TP	P/PML	Adimensional
Produção máxima em lotes	PML	(PM/CM)*LOT	Lotes
Produção máxima	PM	Constante	Pães
Capacidade máxima	OC	Constante	Pães
Lotes	LOT	Constante	Lotes
Taxa de sobrecarga da atividade	TSA	SNA*TP	Percentual
Sobrecarga natural da atividade	SNA	WITHLOOKUP (Time)	Percentual
Sobrecarga da atividade	SA	IF THEN ELSE(TSA-TR<=0 , 0 , TSA-TR)	Percentual
Índice de sobrecarga no tempo médio	ISTM	1 - SA	Percentual
Número de afastamentos	NA	(1-ISTM)*TMPA	Percentual/dias
Número médio de afastamentos	NMA	Constante	Dias
Tempo médio para afastamentos	TMPA	TAH/HTM	Dias
Horas trabalhadas por mês	HTM	ND*NHT	Horas

Número de dias	ND	Constante	Dias
Tempo para afastamento em horas	TAH	Constante	Horas
Taxa de recuperação	TR	$PTR * RFH$	Percentual
Percentual de tempo em repouso	PTR	TR / NHT	Adimensional
Recuperação física por hora	RFH	Constante	Percentual
Tempo em repouso	TR	$NHT - TT$	Horas
Tempo trabalhando	TT	$(NL * TC) / LOT$	Horas