



REDESENHO DO LAYOUT PRODUTIVO COM BASE EM CRONOANÁLISE E LEAN MANUFACTURING: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA

Redesign of the production layout based on Chronoanalysis and Lean Manufacturing: case study in a metal-mechanical industry

Rediseño del layout de producción basado en Cronoanálisis y Lean Manufacturing: estudio de caso en una industria metalmeccánica

Misael Yuri Inácio Silva¹, João Evangelista Dantas dos Santos^{2*}, & Rodolfo de Sousa Santos³

^{1 2 3} Universidade Regional do Cariri - URCA

¹ misael.yuri@urca.br ² jevangelistd@hotmail.com ³ rodolfo.sousa@urca.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 29.05.2025

Aprovado: 04.08.2025

Disponibilizado: 12.09.2025

PALAVRAS-CHAVE: Layout Produtivo; Cronoanálise; Lean Manufacturing; Indústria Metalmeccânica; Otimização de Processos.

KEYWORDS: Production Layout; Chronoanalysis; Lean Manufacturing; Metalworking Industry; Process Optimization

PALABRAS CLAVE: Diseño de producción; Cronoanálisis; Manufactura esbelta; Industria metalmeccánica; Optimización de procesos

*Autor Correspondente: Santos, J. E. D. dos.

RESUMO

A disposição inadequada dos equipamentos e setores no ambiente fabril pode comprometer significativamente a eficiência dos processos produtivos. Este artigo apresenta um estudo de caso em uma empresa do setor metalmeccânico, cujo objetivo foi otimizar o layout produtivo a partir da aplicação da cronoanálise, ferramentas da qualidade e princípios do Lean Manufacturing. A investigação teve início com o mapeamento detalhado das etapas envolvidas na produção de duas peças-chave, denominadas "macho" e "fêmea", totalizando 73 operações analisadas. Os dados coletados permitiram identificar gargalos, movimentações excessivas e atividades que não agregavam valor ao produto final. Com base nisso, foi proposta a reorganização do layout em formato "U", a reconfiguração dos fluxos internos e a adoção de práticas de padronização e gestão visual. A implantação das melhorias resultou na redução do tempo de fabricação, aumento da produtividade, melhor aproveitamento do espaço físico e redução de desperdícios. A análise do mapa de calor confirmou a eficácia da intervenção ao evidenciar a eliminação de zonas críticas de movimentação. Os resultados demonstram que o uso integrado de abordagens da engenharia de produção pode gerar impactos significativos na eficiência operacional de micro e pequenas indústrias.

ABSTRACT

The inadequate arrangement of equipment and sectors in a manufacturing environment can significantly compromise the efficiency of production processes. This article presents a case study of a metalworking company, whose objective

was to optimize the production layout by applying chronoanalysis, quality tools and Lean Manufacturing principles. The investigation began with a detailed mapping of the steps involved in the production of two key parts, called "male" and "female", totaling 73 operations analyzed. The data collected allowed the identification of bottlenecks, excessive movements and activities that did not add value to the final product. Based on this, the proposal was to reorganize the layout in a "U" shape, reconfigure internal flows and adopt standardization and visual management practices. The implementation of the improvements resulted in reduced manufacturing time, increased productivity, better use of physical space and reduced waste. The analysis of the heat map confirmed the effectiveness of the intervention by highlighting the elimination of critical movement zones. The results demonstrate that the integrated use of production engineering approaches can generate significant impacts on the operational efficiency of micro and small industries.

RESUMEN

La disposición inadecuada de equipos y sectores en un entorno de fabricación puede comprometer significativamente la eficiencia de los procesos de producción. Este artículo presenta el caso práctico de una empresa metalúrgica, cuyo objetivo fue optimizar la distribución de producción mediante la aplicación de cronoanálisis, herramientas de calidad y principios de manufactura esbelta. La investigación comenzó con un mapeo detallado de los pasos involucrados en la producción de dos piezas clave, denominadas "macho" y "hembra", que totalizaron 73 operaciones analizadas. Los datos recopilados permitieron identificar cuellos de botella, movimientos excesivos y actividades que no aportaban valor al producto final. Con base en esto, la propuesta consistió en reorganizar la distribución en forma de "U", reconfigurar los flujos internos y adoptar prácticas de estandarización y gestión visual. La implementación de las mejoras resultó en una reducción del tiempo de fabricación, un aumento de la productividad, un mejor uso del espacio físico y una reducción de desperdicios. El análisis del mapa de calor confirmó la efectividad de la intervención, destacando la eliminación de zonas críticas de movimiento. Los resultados demuestran que el uso integrado de enfoques de ingeniería de producción puede generar impactos significativos en la eficiencia operativa de las micro y pequeñas industrias.

INTRODUÇÃO

A perseguição da competitividade tem tornado as organizações industriais cada vez mais eficientes, sobretudo na gestão dos processos produtivos. Na indústria metalmeccânica, onde as operações têm alta densidade de trabalho e utilização de máquinas, o layout produtivo conta com importante papel na eficiência global do sistema. Conforme Slack et al. (2020), a localização física correta dos recursos tem impacto direto na produtividade, no tempo do ciclo, no custo operacional e na segurança dos operários. Estudos recentes, tais como os de Zhang et al. (2018) e Monteiro et al. (2022), demonstram que a remodelação do layout com apoio em análises técnicas facilita a redução de movimentações inúteis, minimiza desperdícios e aumenta a fluidez das operações. Nessa perspectiva, o emprego de abordagens como a cronoanálise, técnica adotada com objetivo de medir e avaliar os tempos de execução das tarefas, tem se revelado imprescindível ao identificar gargalos e oportunidades para melhorar (Silva et al., 2021). E além da integração com as Ferramentas do Lean Manufacturing potencializa os resultados ao desfazer as atividades não agregadoras ao produto final (Srinivasan et al., 2024).

No entanto, a otimização do layout e do fluxo de materiais, embora crucial, é apenas uma parte da equação para a excelência operacional. A gestão eficaz da variabilidade inerente aos processos produtivos e a tomada de decisões baseada em métodos quantitativos robustos são igualmente fundamentais para alcançar níveis superiores de eficiência e qualidade. Nesse contexto, metodologias como o Lean Six Sigma, focado na redução da variabilidade e eliminação de defeitos, oferece ferramentas para otimização e suporte à decisão em cenários complexos, emergem como complementos valiosos para aprimorar a análise e as soluções propostas em estudos de otimização de processos.

Este artigo tem como objetivo propor a otimização do layout produtivo de uma empresa do setor metalmeccânico por meio da análise dos tempos e movimentos envolvidos na fabricação de peças, utilizando abordagens da engenharia de produção, como Lean Manufacturing e ferramentas da qualidade. A pesquisa teve como ponto de partida a identificação de gargalos e atividades que não agregavam valor no processo, além da análise do fluxo físico de materiais e operadores no ambiente fabril. Adicionalmente, este estudo visa integrar os princípios do Lean Six Sigma para o tratamento da variabilidade dos processos, enriquecendo a análise e as recomendações para a melhoria contínua.

REVISÃO DA LITERATURA

LAYOUT PRODUTIVO

O layout produtivo é um fator determinante na eficiência operacional das indústrias, influenciando diretamente na produtividade, nos custos e na qualidade dos produtos. Segundo Slack et al. (2020), um arranjo físico adequado facilita o fluxo de materiais e informações, reduzindo desperdícios e melhorando a ergonomia no ambiente de trabalho. A escolha do tipo de layout — seja por produto, processo, célula ou posição fixa — deve considerar as características específicas da produção e os objetivos estratégicos da organização.

Estudos recentes têm demonstrado a importância de um layout bem planejado. Por exemplo, Zhang et al. (2018) desenvolveram métodos evolutivos para otimizar layouts em armazéns inteligentes, evidenciando a relevância de abordagens sistemáticas na disposição de recursos físicos. Além disso, a aplicação de técnicas como o Systematic Layout Planning (SLP) tem se mostrado eficaz na reorganização de espaços industriais, promovendo melhorias significativas na eficiência dos processos.

O SLP, em particular, embora reconhecido por sua robustez metodológica, apresenta limitações quando aplicado em ambientes fabris reais. Como apontado por Dinis-Carvalho et al. (2019), sua implementação exige dados confiáveis sobre volumes de produção, fluxos de materiais e requisitos de espaço, os quais nem

sempre estão disponíveis ou atualizados nas empresas. Além disso, as resistências culturais à mudança, os custos de rearranjo e as interrupções nas operações durante a reestruturação física podem comprometer o sucesso da aplicação.

CRONOANÁLISE

A cronoanálise é uma técnica essencial para medir e analisar os tempos de execução das atividades no processo produtivo. De acordo com Martins e Laugení (2019), essa ferramenta permite identificar gargalos e oportunidades de melhoria, contribuindo para a padronização e eficiência dos processos. A cronoanálise envolve a decomposição das tarefas em elementos básicos, a medição dos tempos de execução e a análise dos dados coletados para identificar variações e desperdícios.

Aplicações recentes demonstram sua eficácia na redução de tempos de ciclo e aumento da produtividade em diversos setores industriais. Por exemplo, em um estudo de caso realizado por Silva et al. (2021) em uma indústria de componentes automotivos, a aplicação da cronoanálise resultou na identificação de atividades que não agregavam valor, permitindo a reestruturação do processo e a redução do tempo total de produção em 15%.

FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade são instrumentos valiosos para a identificação e resolução de problemas nos processos produtivos. O Diagrama de Ishikawa, por exemplo, auxilia na análise das causas raízes de problemas, enquanto o Diagrama de Pareto permite priorizar as questões mais impactantes. De acordo com Dinis-Carvalho et al. (2019), a aplicação dessas ferramentas contribui significativamente para a melhoria contínua e a tomada de decisões estratégicas nas organizações.

Estudos de caso reforçam a eficácia dessas ferramentas. Pakes et al. (2022) aplicaram o ciclo PDCA e ferramentas da qualidade em uma empresa do setor têxtil, resultando na redução de defeitos de contaminação e na padronização do processo de moldação. Outro exemplo é o trabalho de Pakes et al. (2022), que utilizaram o Diagrama de Ishikawa e o ciclo PDCA na gestão de acidentes em uma empresa industrial, melhorando a comunicação e a eficácia dos planos de ação.

LEAN MANUFACTURING

A filosofia Lean Manufacturing visa a eliminação de desperdícios e a maximização do valor agregado ao cliente. Ferramentas como o 5S, Kanban e Just-in-Time são amplamente utilizadas para promover a eficiência e a flexibilidade nos processos produtivos. Srinivasan et al. (2024) demonstraram que a implementação do Lean Manufacturing em indústrias siderúrgicas resultou em melhorias significativas na qualidade e na produtividade.

Estudos de caso corroboram esses benefícios. Freitas e Lopes (2023) relataram a implantação do Lean Manufacturing em uma empresa têxtil, resultando na redução de custos, desperdícios e tempo de produção. Monteiro et al. (2022) aplicaram princípios Lean em uma indústria de esquadrias de alumínio, reduzindo o tempo de montagem em 44% e a movimentação dos operadores em 82%. Além disso, Dill (2018) destacou a adoção do Lean Manufacturing na Kepler Weber Industrial S.A., promovendo melhorias no layout, redução de estoques e aumento da produtividade.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste estudo foi estruturada de forma a alcançar os objetivos propostos, partindo da análise do layout produtivo atual, identificação de gargalos no processo e proposição de melhorias baseadas em técnicas de otimização. Além disso, a pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quantitativa e qualitativa, com objetivos exploratórios e descritivos. Quanto aos

procedimentos técnicos, configura-se como um estudo de caso por meio da aplicação integrada de cronoanálise, ferramentas da qualidade e Lean Manufacturing. A coleta de dados foi realizada em uma empresa metalmeccânica de pequeno porte, especializada na fabricação de perfis e componentes metálicos. Desta forma, os métodos sequenciados cronologicamente e as ferramentas selecionadas são apresentados a seguir:

I. Cronoanálise

A técnica de cronoanálise será utilizada para mensuração do tempo necessário à execução das atividades no processo produtivo. Essa ferramenta permite identificar os principais gargalos, desperdícios e atividades que não agregam valor, possibilitando uma visão clara sobre as etapas que podem ser otimizadas para redução dos tempos de ciclo e aumento da produtividade.

II. Análise de Layout

Para o redesenho do arranjo físico da produção, será aplicado o método de Systematic Layout Planning (SLP), que permite organizar o fluxo de materiais, pessoas e informações dentro da empresa, promovendo um melhor aproveitamento do espaço físico e redução das movimentações internas. Essa técnica será acompanhada pela elaboração de Mapas de Fluxo de Valor (Value Stream Mapping - VSM), para representar de forma gráfica os processos e identificar possíveis desperdícios.

III. Ferramentas da Qualidade

A análise das causas e efeitos dos problemas identificados será realizada por meio do Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe), permitindo identificar as causas-raiz das ineficiências no processo.

IV. Lean Manufacturing

A filosofia Lean será aplicada para eliminar desperdícios no processo produtivo, com foco na otimização dos recursos e no aumento do valor agregado. O Just in Time (JIT) será explorado para melhorar o fluxo de materiais, enquanto o Kanban será implementado para controle visual do estoque e dos processos em andamento.

V. Ergonomia Industrial

Por fim, será realizada uma análise ergonômica dos postos de trabalho, com o objetivo de minimizar riscos ocupacionais e otimizar os movimentos dos operadores, garantindo segurança e conforto no ambiente produtivo.

VI. Lean Six Sigma para Análise de Variabilidade

Para aprofundar a análise da variabilidade dos tempos de ciclo identificados pela cronoanálise, propôs-se a aplicação dos princípios do Lean Six Sigma, seguindo a metodologia DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Na fase de Definição, o problema da variabilidade excessiva em operações críticas, como a furação ou o polimento da peça "fêmea", foi formalmente estabelecido, com metas claras de redução. A fase de Medição envolveu a coleta sistemática de dados de tempo e a utilização de ferramentas estatísticas como gráficos de controle (ex, X-barra e R) para monitorar a estabilidade do processo e distinguir entre causas comuns e especiais de variabilidade. A Análise buscou as causas-raiz da variabilidade por meio de ferramentas como o Diagrama de Ishikawa, complementado por análises de regressão ou testes de hipóteses para validar fatores influenciadores (ex, operador, condição da máquina). Na fase de Melhoria, foram desenvolvidas e implementadas soluções para reduzir a variabilidade, como a padronização de procedimentos, a implementação de dispositivos Poka-Yoke ou o treinamento aprimorado dos operadores. Finalmente, a fase de Controle estabeleceu-se mecanismos para sustentar os ganhos, como planos de controle e auditorias periódicas, garantindo a estabilidade do processo a longo prazo.

A integração dessas metodologias permitirá um diagnóstico preciso do cenário atual, bem como o desenvolvimento de propostas de melhorias fundamentadas em técnicas reconhecidas pela literatura da área. Esse conjunto de métodos visa não apenas a otimização do layout produtivo, mas também a melhoria contínua dos processos e a elevação dos índices de produtividade da empresa estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da cronoanálise no processo de fabricação do Montante Stili Slim permitiu um diagnóstico detalhado das operações envolvidas na produção das peças "macho" e "fêmea". A partir da decomposição das atividades em elementos básicos e da medição precisa dos tempos de execução, foi possível identificar gargalos produtivos, desperdícios e oportunidades de melhoria com base na filosofia Lean Manufacturing. No entanto, para uma compreensão mais aprofundada da estabilidade e previsibilidade desses processos, realizou-se uma análise estatística da variabilidade, utilizando métricas como o Coeficiente de Variação (CV).

ANÁLISE DE VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO DO MACHO

A produção da peça "macho" apresentou um total de aproximadamente 26,5 minutos para a execução das 20 operações listadas (Tabela 1).

Tabela 01. Análise de Variabilidade das Operações de Produção do Macho

| Descrição da Operação | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Amplitude | Coeficiente de Variação |
|--|-------|---------------|--------|--------|-----------|-------------------------|
| Transportar placa do almoxarifado até a máquina de corte e marcar o corte na chapa | 0,99 | 0,66 | 0,36 | 2,69 | 2,33 | 0,67 |
| Programar máquina | 0,53 | 0,30 | 0,18 | 1,27 | 1,09 | 0,56 |
| Realizar 1º corte (divide a placa em 3) | 2,47 | 0,33 | 2,03 | 2,82 | 0,78 | 0,13 |
| Retirar o material cortado e posicionar na mesa | 0,80 | 0,50 | 0,32 | 2,12 | 1,80 | 0,63 |
| Programar máquina para o 2º corte (divide 1º corte em 4) | 0,53 | 0,31 | 0,07 | 0,96 | 0,90 | 0,59 |
| Posicionar o 1º terço na máquina | 0,66 | 0,11 | 0,48 | 0,86 | 0,38 | 0,17 |
| Realizar 2º corte no 1º terço da placa | 1,27 | 0,33 | 0,56 | 1,66 | 1,10 | 0,26 |
| Transportar o material cortado e posicionar na mesa | 0,76 | 0,09 | 0,64 | 0,89 | 0,25 | 0,12 |
| Realizar 2º corte no 2º terço da placa | 1,71 | 0,77 | 0,59 | 2,96 | 2,37 | 0,60 |
| Transportar o material cortado e posicionar na mesa | 0,76 | 0,13 | 0,52 | 0,97 | 0,45 | 0,17 |
| Posicionar o 3º terço na máquina | 0,48 | 0,09 | 0,37 | 0,69 | 0,32 | 0,20 |
| Realizar 2º corte no 3º terço da placa | 1,27 | 0,12 | 1,06 | 1,51 | 0,46 | 0,09 |
| Transportar o material cortado e posicionar na mesa | 0,76 | 0,12 | 0,63 | 0,98 | 0,35 | 0,15 |
| Tirar as rebarbas | 0,53 | 0,15 | 0,34 | 0,86 | 0,52 | 0,28 |
| Transportar para a dobradeira | 0,31 | 0,02 | 0,27 | 0,34 | 0,07 | 0,07 |
| Programar a máquina para dobrar machos | 0,33 | 0,05 | 0,26 | 0,39 | 0,13 | 0,16 |
| Executar a dobra e inspeção | 3,21 | 0,26 | 2,55 | 3,48 | 0,93 | 0,08 |
| Transportar os machos para solda de ponto | 1,25 | 0,06 | 1,13 | 1,37 | 0,24 | 0,05 |
| Soldar os três chapelines no corpo | 4,45 | 0,21 | 4,24 | 4,97 | 0,73 | 0,05 |
| Transportar para montar com a fêmea | 2,00 | 0,55 | 1,19 | 2,91 | 1,72 | 0,27 |

Fonte: Autores (2025).

As operações com maior Coeficiente de Variação (CV) na produção do Macho foram:

- Transportar placa do almoxarifado até a máquina de corte e marcar o corte na chapa (CV = 66,8%)
- Retirar o material cortado e posicionar na mesa (CV = 62,9%)
- Realizar 2º corte no 2º terço da placa (CV = 60,2%)
- Programar máquina para o 2º corte (divide 1º corte em 4) (CV = 58,7%)
- Programar máquina (CV = 56,3%)

Essas operações, predominantemente relacionadas a transporte e programação, indicam a necessidade de padronização e otimização para reduzir a dispersão nos tempos de execução. Em contraste, operações como 'Soldar os três chapelines no corpo' (CV = 4,7%) e 'Transportar os machos para solda de ponto' (CV = 4,9%) demonstraram menor variabilidade, sugerindo processos mais estáveis e padronizados.

ANÁLISE DE VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO DA FÊMEA

A produção da peça "fêmea" envolveu 53 operações, com um tempo total estimado em cerca de 66 minutos (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de Variabilidade das Operações de Produção da Fêmea

| Descrição da Operação | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo | Amplitude | Coefficiente de Variação |
|--|-------|---------------|--------|--------|-----------|--------------------------|
| Transportar placa do almoxarifado até a máquina de corte e marcar o corte na chapa | 0,99 | 0,66 | 0,36 | 2,69 | 2,33 | 0,67 |
| Programar máquina | 0,53 | 0,30 | 0,18 | 1,27 | 1,09 | 0,56 |
| Realizar 1º corte (divide a placa em 3) | 2,47 | 0,33 | 2,04 | 2,82 | 0,78 | 0,13 |
| Retirar o material cortado e posicionar na mesa | 0,80 | 0,50 | 0,32 | 2,12 | 1,80 | 0,63 |
| Programar a máquina para 2º corte (divide 1º corte em 4) | 0,53 | 0,31 | 0,07 | 0,96 | 0,90 | 0,59 |
| Posicionar o 1º terço na máquina | 0,66 | 0,11 | 0,48 | 0,86 | 0,38 | 0,17 |
| Realizar 2º corte no 1º terço da placa | 1,27 | 0,33 | 0,56 | 1,66 | 1,10 | 0,26 |
| Transportar o material cortado e posicionar na mesa | 0,76 | 0,09 | 0,64 | 0,89 | 0,25 | 0,12 |
| Posicionar o 2º terço na máquina | 0,90 | 0,05 | 0,81 | 0,96 | 0,16 | 0,06 |
| Realizar 2º corte no 2º terço da placa | 1,27 | 0,06 | 1,18 | 1,36 | 0,18 | 0,05 |
| Transportar o material cortado e posicionar na mesa | 0,76 | 0,08 | 0,61 | 0,86 | 0,25 | 0,11 |
| Posicionar o 3º terço na máquina | 0,58 | 0,06 | 0,50 | 0,66 | 0,16 | 0,10 |
| Realizar o corte no 3º terço da placa | 1,27 | 0,06 | 1,18 | 1,38 | 0,20 | 0,05 |
| Transportar o material cortado e posicionar na mesa | 0,76 | 0,07 | 0,68 | 0,94 | 0,26 | 0,10 |
| Programar a máquina para 4º corte (tirar a diferença dos machos) | 0,53 | 0,05 | 0,44 | 0,60 | 0,15 | 0,10 |
| Retirar as fêmeas na mesa e posicionar na máquina | 1,00 | 0,00 | 0,99 | 1,00 | 0,01 | 0,00 |
| Realizar o corte e inspeção | 0,31 | 0,06 | 0,25 | 0,46 | 0,21 | 0,19 |
| Retirar as rebarbas | 0,79 | 0,07 | 0,70 | 0,93 | 0,22 | 0,08 |
| Programar a máquina para dobrar fêmeas | 0,53 | 0,03 | 0,48 | 0,58 | 0,10 | 0,06 |
| Executar a dobra e inspeção | 2,37 | 0,36 | 1,59 | 2,84 | 1,25 | 0,15 |
| Transportar para a soldagem | 1,39 | 0,08 | 1,28 | 1,54 | 0,26 | 0,06 |
| Retirar o plástico da ponta das fêmeas | 0,23 | 0,03 | 0,20 | 0,29 | 0,09 | 0,11 |
| Soldar tampa nas fêmeas | 2,64 | 0,24 | 2,27 | 2,91 | 0,64 | 0,09 |
| Passar FLAP | 1,76 | 0,08 | 1,60 | 1,89 | 0,30 | 0,05 |
| Transportar para a punção | 1,21 | 0,07 | 1,12 | 1,31 | 0,19 | 0,06 |
| Marcar onde puncionar | 0,23 | 0,03 | 0,19 | 0,28 | 0,09 | 0,12 |
| Puncionar para marcar onde realizar os 3 furos | 0,37 | 0,03 | 0,30 | 0,40 | 0,09 | 0,07 |
| Transportar para a furadeira | 0,79 | 0,03 | 0,75 | 0,83 | 0,08 | 0,04 |
| Setup na furadeira para broca fina | 3,14 | 0,38 | 2,22 | 3,37 | 1,42 | 0,12 |
| Realizar 3 furos com broca fina | 0,83 | 0,06 | 0,79 | 0,95 | 0,17 | 0,07 |
| Setup na furadeira para broca ideal | 3,14 | 0,16 | 2,98 | 3,48 | 0,50 | 0,05 |
| Alargar os 3 furos com broca ideal | 0,37 | 0,03 | 0,33 | 0,40 | 0,07 | 0,08 |
| Puncionar para marcar onde realizar os 3 furos | 0,37 | 0,02 | 0,34 | 0,40 | 0,05 | 0,04 |
| Setup na furadeira para broca larga | 3,14 | 0,15 | 2,91 | 3,37 | 0,46 | 0,05 |
| Setup na furadeira para broca fina | 3,14 | 0,28 | 2,76 | 3,65 | 0,90 | 0,09 |
| Retirar a rebarba dos 3 furos | 0,45 | 0,02 | 0,43 | 0,48 | 0,05 | 0,04 |
| Transportar para o polimento | 1,01 | 0,07 | 0,85 | 1,12 | 0,27 | 0,07 |
| Alargar os 3 furos com broca ideal | 3,26 | 0,29 | 2,91 | 3,67 | 0,75 | 0,09 |
| Realizar o polimento no cinzal | 0,37 | 0,02 | 0,32 | 0,40 | 0,08 | 0,06 |
| Realizar o polimento no pano | 1,00 | 0,07 | 0,92 | 1,16 | 0,24 | 0,07 |
| Transportar para montagem com o macho | 1,25 | 0,14 | 1,20 | 1,41 | 0,41 | 0,12 |
| Montagem da fêmea com o macho | 2,01 | 0,05 | 1,89 | 2,10 | 0,21 | 0,03 |
| Soldar tampa geral no macho | 1,83 | 0,33 | 1,20 | 2,25 | 1,10 | 0,18 |
| Passar flange na solda do macho montado | 2,38 | 0,21 | 2,03 | 2,65 | 0,62 | 0,09 |
| Passar flap na fêmea e macho | 2,15 | 0,19 | 2,03 | 2,52 | 0,50 | 0,09 |
| Transportar para polimento | 1,36 | 0,17 | 1,11 | 1,59 | 0,48 | 0,12 |
| Polir macho com tampa no cinzal | 3,77 | 0,38 | 3,13 | 4,27 | 1,14 | 0,10 |
| Polir macho com tampa no pano | 1,37 | 0,21 | 1,16 | 1,78 | 0,62 | 0,15 |
| Transportar de volta para a soldagem | 1,63 | 0,26 | 1,19 | 1,98 | 0,79 | 0,16 |
| Encaixar canopla no corpo | 0,57 | 0,03 | 0,52 | 0,63 | 0,11 | 0,06 |
| Soldar flange no macho completo | 2,61 | 0,53 | 1,72 | 3,30 | 1,58 | 0,20 |
| Transportar para finalização | 0,30 | 0,02 | 0,28 | 0,35 | 0,07 | 0,07 |
| Finalização | 4,40 | 0,55 | 3,20 | 4,95 | 1,75 | 0,13 |

Fonte: Autores (2025).

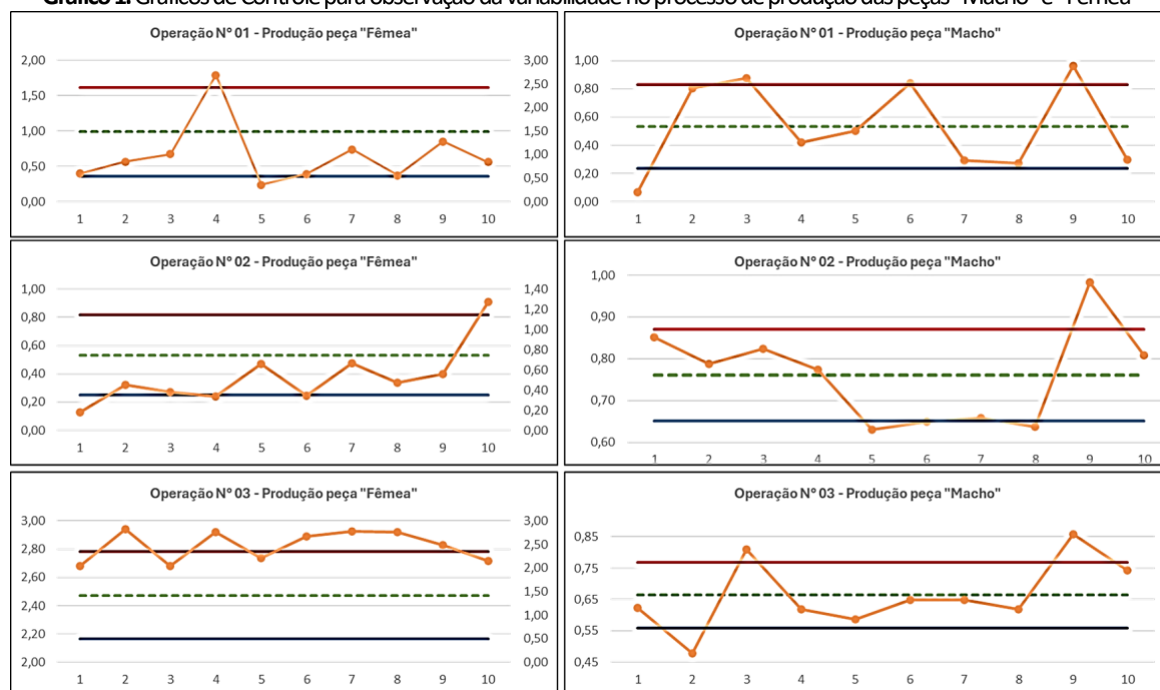
As operações com maior Coeficiente de Variação (CV) na produção da Fêmea foram:

- Transportar placa do almoxarifado até a máquina de corte e marcar o corte na chapa (CV = 66,8%)
- Retirar o material cortado e posicionar na mesa (CV = 62,9%)
- Programar a máquina para 2º corte (divide 1º corte em 4) (CV = 58,7%)
- Programar máquina (CV = 56,3%)
- Soldar flange no macho completo (CV = 20,3%)

Assim como na produção do Macho, as operações de transporte e programação de máquinas continuam a ser as mais variáveis, indicando a necessidade de padronização e otimização nesses pontos. A operação de 'Soldar flange no macho completo' também apresenta alta variabilidade, sugerindo que o processo de soldagem ou o manuseio da peça durante essa etapa pode precisar de maior controle. Em contrapartida, operações como 'Retirar as fêmeas na mesa e posicionar na máquina' (CV = 0,36%) e 'Montagem da fêmea com o macho' (CV = 2,67%) demonstraram alta estabilidade, servindo como referência para a aplicação de melhores práticas.

Para melhor exemplificar a distribuição dos pontos, bem como visualizar mais facilmente a variabilidade entre os tempos coletados dos processos operacionais, a seguir estão ilustrados alguns gráficos de controle referentes a determinadas operações para o "Macho" e para a "Fêmea" (Gráfico 1).

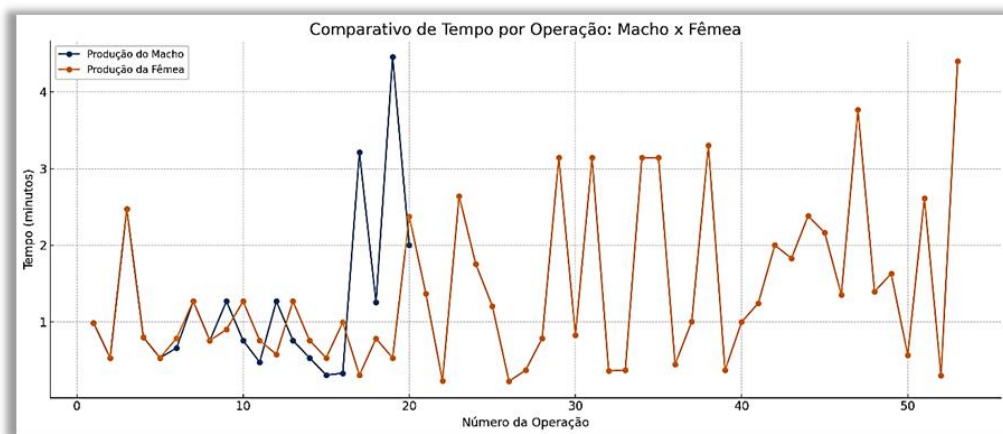
Gráfico 1. Gráficos de Controle para observação da variabilidade no processo de produção das peças "Macho" e "Fêmea"



Fonte: Autores (2025).

Com a análise realizada em cada uma das operações para os produtos "Macho" e "Fêmea" foi possível notar que o tempo medido referentes aos mesmos ciclos de operação apresentam um desbalanceamento significativo, com grandes amplitudes em média de, aproximadamente, 2 minutos para a produção de ambas as peças, "Fêmea" e "Macho".

A seguir, a Figura 1 a seguir ilustra a diferença de amplitude entre os tempos de produção para cada um dos produtos, bem como um comparativo entre ambos no que tange o quantitativo de ações operacionais que devem ser realizadas para que se alcance o produto acabado.

Figura 1. Gráfico de Linha para comparativo de amplitude das operações para o “macho” e “fêmea”

Fonte: Autores (2025).

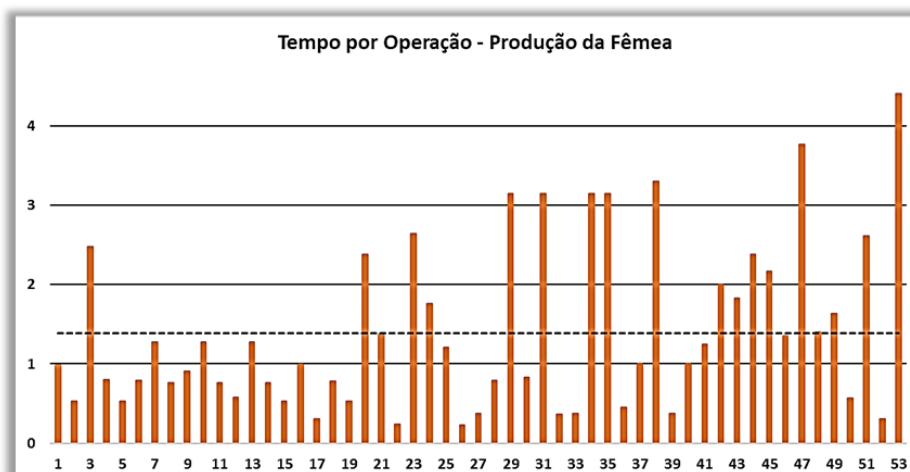
É possível notar através do gráfico que até a operação número 15 o processo segue um comportamento semelhante para ambas as peças, com amplitudes que se repetem, contudo a partir da 16ª operação, que envolve todas as operações de produção peça “fêmea”, esta apresenta uma grande amplitude entre as operações o que indica haver um desbalanceamento do processo e, conseqüentemente, um custo maior de processamento do produto interferindo diretamente nos retornos financeiros.

IDENTIFICAÇÃO DE GARGALOS

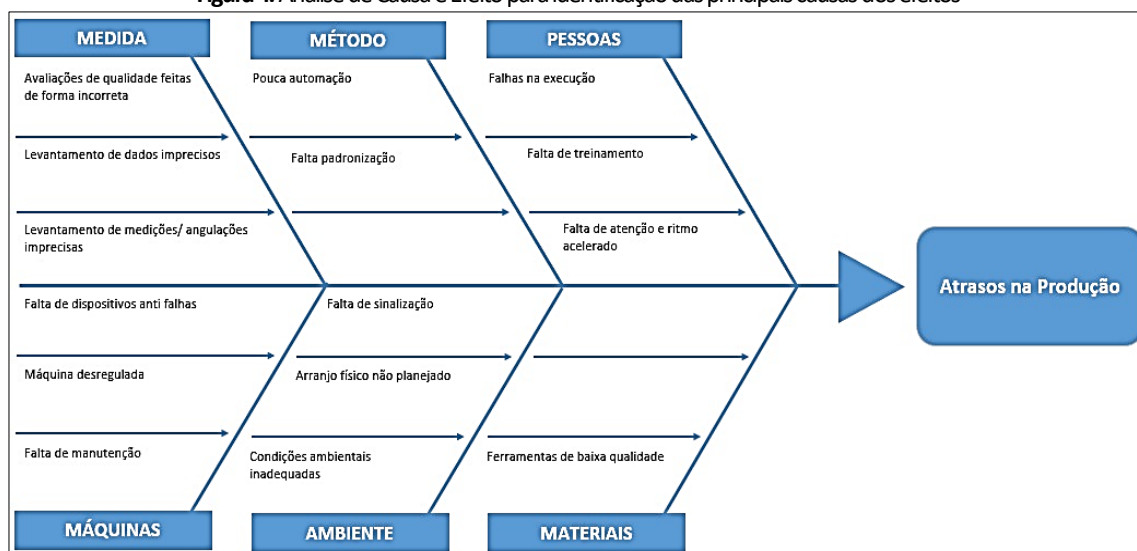
Ao analisar os dados obtidos, destacam-se operações com alto tempo de execução, como:

- i. Soldagem dos chapelines no macho (4,454 min);
- ii. Soldagem da tampa na fêmea (2,641 min);
- iii. Setup de furadeira para três diferentes brocas (três vezes 3,141 min);
- iv. Polimento no cinzal e no pano (várias etapas, superando 5 minutos no total);
- v. Finalização (4,400 min).

Além disso, houve frequentes transportes manuais de materiais entre setores (em média, 1 minuto por transporte), somando tempos expressivos e revelando uma das principais fontes de desperdício do processo. Conseqüentemente, como o processo produtivo da “fêmea” apresenta uma grande quantidade de operações e, conforme foi visto na Figura 01 com a representação da oscilação e amplitude dos tempos operacionais, é esperado que, se esse processo não passou por um balanceamento da produção, também apresente um quantitativo maior de operações individuais com tempos que excedem à média das operações globais (Figura 2).

Figura 2. Tempo por operação da produção da “fêmea”

Fonte: Autores (2025).

Figura 4. Análise de Causa e Efeito para identificação das principais causas dos efeitos

Fonte: Autores (2025).

Com posse dessas informações, foi possível analisar que:

- A disposição desorganizada dos setores Guilhotina e Viradeira, que são máquinas fundamentais e sequenciais no corte e conformação, estão afastadas e desalinhadas, exigindo movimentação manual frequente entre mesas intermediárias.
- A alta movimentação interna e cruzamento de fluxos nas áreas de solda, ajuste e acabamento estão separadas por grandes distâncias e envolvem curvas ou trajetos de retorno. Existe sobreposição de áreas de trabalho e de passagem, o que aumenta o risco de acidentes e a ociosidade de operadores.
- As máquinas e recursos sem setorização clara, os motores e o torno estão distribuídos de forma aleatória na parte superior da planta, o que dificulta a criação de células produtivas. A fresa, furadeira e expedição estão posicionados no canto direito inferior, longe da entrada de matéria-prima (Guilhotina), prejudicando o fluxo de finalização.

Essas análises possibilitaram concluir que (Tabela 2):

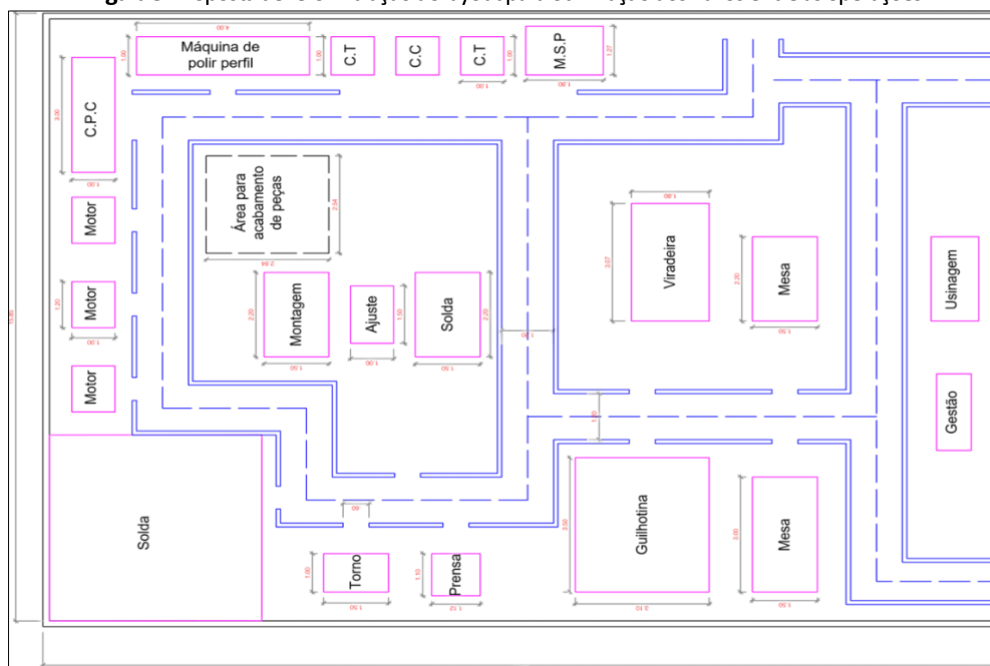
Tabela 2. Implicações práticas do layout antigo no processo produtivo

| Problema Identificado | Impacto na Produção |
|--------------------------------|--|
| Distância entre máquinas | Aumenta tempo de transporte e fadiga do operador |
| Fluxo não linear | Gera retrabalho, cruzamento e confusão operacional |
| Falta de organização por setor | Dificulta controle de qualidade e supervisão |
| Ausência de layout celular | Impossibilita produção em série otimizada |
| Área de acabamento isolada | Aumenta lead time entre solda e polimento |

Fonte: Autores (2025).

Com isso, o fluxo de materiais não segue uma linha lógica ou contínua, obrigando os operadores a mover peças entre pontos distantes e cruzar trajetos. Contudo, com a reorganização do layout produtivo em formato "U", (Figura 5), a utilização de carrinhos de transporte, a alocação de gavetas nos postos de trabalho, a programação prévia das máquinas CNC e a adoção do sistema Kanban, foi possível:

- Reduzir o tempo de produção do macho de 22 min para 9 min;
- Reduzir o tempo de produção da fêmea de 23 min para 10 min na fase de corte;
- Aumentar a produção diária de 3 para 20 unidades;
- Ampliar a produção semanal para 37 unidades finalizadas;
- Elevar o faturamento semanal estimado de R\$ 3.600 para R\$ 7.400 por lote de 37 unidades.

Figura 5. Proposta de reformulação do layout para otimização dos fluxos entre as operações

Fonte: Autores (2025).

Além disso, a aquisição da prensa excêntrica para os chapelins elevou a capacidade de produção de 12 peças em 46 min para 91 peças em 60 min, otimizando o abastecimento das etapas de montagem. Conforme visto na Figura 5, o novo layout com formato em “U”, fluxo contínuo e setorização lógica das atividades. As máquinas principais (Guilhotina, Viradeira, Solda e Montagem) estão dispostas de forma a reduzir deslocamentos e cruzamentos. O fluxo é guiado por corredores sinalizados com linhas azuis tracejadas, promovendo segurança e fluidez. A centralização das etapas críticas e o agrupamento funcional por tipo de processo eliminaram gargalos, redistribuíram o espaço anteriormente ocioso e reduziram riscos ergonômicos.

Tabela 3. Comparativo com as principais diferenças observadas em cada um dos layouts

| Critério | Layout Antigo | Layout Otimizado |
|--|--|--|
| Organização dos setores | Máquinas e áreas dispersas, sem agrupamento funcional. | Setores agrupados por afinidade funcional (corte, dobra, solda). |
| Sequência lógica do processo | Fluxo desorganizado e cruzado. | Fluxo contínuo em formato “U”, indicado por setas azuis. |
| Layout celular | Inexistente; operadores precisam cruzar todo o espaço. | Presença de ilhas de trabalho e setorização clara. |
| Posição das máquinas principais | Guilhotina e viradeira distantes da área de montagem. | Guilhotina e viradeira no início do fluxo, próximas à montagem. |
| Movimentação interna | Alta, com muitos transportes e deslocamentos aleatórios. | Reduzida, com caminhos definidos e curtos (demarcados). |
| Ergonomia e segurança | Ausência de corredores ou marcações visuais. | Presença de corredores delimitados e vias organizadas. |
| Área de montagem e acabamento | Isolada e distante. | Centralizada, facilitando inspeção e continuidade. |
| Recursos auxiliares (mesas, prensas, etc.) | Mal posicionados, sem lógica. | Dispostos estrategicamente ao longo do fluxo. |
| Função do layout | Mistura de layout por processo e posição fixa. | Transição clara para layout por produto com fluxo contínuo. |

Fonte: Autores (2025).

Com a nova proposta, uma comparação foi realizada para que se pudesse identificar as principais diferenças obtidas com a sugestão da otimização do novo layout (Tabela 3). Com isso, os principais destaques advindos dessa modificação foram percebidos, conforme listados a seguir:

- i. A formação clara de fluxo produtivo (layout em “U”), possibilita a movimentação fluida da entrada da chapa (Guilhotina) até a expedição, sem retornos ou cruzamentos. A configuração reduz deslocamentos em até 65%.
- ii. O agrupamento funcional em áreas como solda, ajuste e montagem foram centralizadas, permitindo rápida transição entre operações correlatas.
- iii. A padronização visual promovida com a inclusão de corredores e vias de circulação com marcação visual (setas em azul tracejado), aumentaram a segurança e eficiência logística.
- iv. Os setores adicionais como prensa e usinagem aparecem no novo layout, indicando diversificação de recursos e aumento da capacidade produtiva.
- v. A reorganização da área de acabamento está integrada ao fluxo, facilitando inspeções e retrabalhos rápidos.

Dessa forma, a transição do layout antigo para o novo configura uma mudança estratégica e tática na estrutura da produção, elevando os princípios da manufatura enxuta (Lean). O novo layout elimina movimentações desnecessárias, organiza melhor os recursos, fortalece o sequenciamento lógico das etapas e cria um ambiente mais seguro e eficiente para os operadores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos comprovam que as intervenções aplicadas, fundamentadas na cronoanálise, no Lean Manufacturing e na análise espacial (com apoio do mapa de calor), geraram ganhos significativos de produtividade, eficiência e organização fabril. O tempo de ciclo foi reduzido drasticamente, os desperdícios foram minimizados e a comunicação interna foi aprimorada com o uso do Kanban. Além disso, o novo layout contribuiu para reduzir riscos ergonômicos e melhorar a fluidez do processo.

IMPLICAÇÕES DA VARIABILIDADE E SUGESTÕES DE MELHORIA

A alta variabilidade observada em certas operações, especialmente as de transporte e programação, impacta diretamente a previsibilidade do processo produtivo, podendo gerar gargalos, atrasos e aumento de custos. A aplicação do Lean Six Sigma, com seu foco na redução da variabilidade, é crucial para mitigar esses problemas, oportunizando uma melhoria significativa na preparação e no planejamento das operações. As ações sugeridas incluem:

- Padronização de Procedimentos Operacionais (POPs): Para operações de transporte, definir rotas, locais de armazenamento e métodos de manuseio. Para programação de máquinas, criar checklists e templates para reduzir erros e inconsistências.
- Treinamento e Capacitação: Capacitar os operadores para seguir os POPs e entender a importância da consistência na execução das tarefas.
- Poka-Yoke (À Prova de Erros): Implementar dispositivos ou métodos que previnam erros e variações, como gabaritos para posicionamento de peças ou sistemas de verificação automática.
- Otimização do Layout e Fluxo: Revisitar o layout para minimizar movimentos desnecessários e otimizar a ergonomia, especialmente nas áreas de transporte e manuseio de materiais.
- Monitoramento Contínuo: Utilizar gráficos de controle para acompanhar a variabilidade das operações críticas ao longo do tempo, garantindo que as melhorias sejam sustentadas e que novos problemas sejam identificados rapidamente.

Esses avanços estão alinhados com estudos recentes, como os de Monteiro et al. (2022), que demonstraram redução de tempo e aumento de produtividade em indústrias após reestruturação de layout e aplicação do Lean. Esses também reforçam que a importância da cronoanálise na identificação de gargalos, conforme observado por Silva et al. (2021), e do uso de ferramentas da qualidade como base para melhoria contínua (Pakes et al., 2022), se tornam argumentos fortes para uma tomada de decisão centrada na otimização e redução de custos e um melhor atendimento de demandas internas e externas.

Portanto, os dados e os resultados discutidos neste artigo não apenas solucionam a problemática da ineficiência produtiva identificada, como também demonstram a viabilidade da abordagem aplicada, oferecendo subsídios para replicação em empresas de perfil semelhante no setor metalmeccânico.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo propor a otimização do layout produtivo de uma empresa do setor metalmeccânico, com base em métodos como cronoanálise, ferramentas da qualidade e princípios do Lean Manufacturing. A partir da identificação da problemática relacionada à ineficiência do fluxo produtivo, foram realizadas análises detalhadas das atividades de fabricação das peças "macho" e "fêmea", evidenciando altos tempos de ciclo, excesso de movimentações e ociosidades.

A reorganização física dos recursos, por meio da implementação de um layout em formato "U", da padronização de processos e da aplicação de técnicas de gestão visual e célula de produção, resultou em ganhos expressivos. Dentre os resultados observados, destacam-se: aumento da capacidade de produção, redução do tempo de fabricação, melhor aproveitamento do espaço físico e maior fluidez no fluxo de materiais.

A análise do mapa de calor confirmou as zonas críticas de movimentação no layout anterior, reforçando a importância das mudanças implementadas. A comparação entre o arranjo físico antigo e o otimizado evidenciou um avanço significativo em termos de eficiência operacional, ergonomia e organização.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação integrada das ferramentas e métodos estudados foi eficaz para solucionar a problemática proposta, servindo como referência para outras organizações que enfrentam desafios semelhantes no contexto industrial. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a análise do impacto econômico das melhorias implementadas e a continuidade da busca por inovação nos processos de produção.

REFERÊNCIAS

- Dill, E. R., Zimmer, J. R., & Pacheco, J. R. (2018). Adoção do Lean Manufacturing na indústria de bens de capital: Estudo de caso na Kepler Weber Industrial S.A. *Revista Gestão Industrial*, 14(1), 97-114.
- Dinis-Carvalho, J., Sousa, R. M., Leão, C. P., & Alves, A. C. (2019). Quality tools: Fundamental concepts and new trends. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 11(3), 371-386. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-12-2017-0122>
- Freitas, M. A. & Lopes, A. C. (2023). Aplicação do Lean Manufacturing em uma empresa têxtil: Um estudo de caso. *Revista Gestão Industrial*, 19(1), 45-61.
- Martins, P. G. & Laugen, F. P. (2019). Administração da produção (3ª ed.). São Paulo, SP: Saraiva Educação.
- Monteiro, T. M., Silva, J. C., & Oliveira, F. R. (2022). Aplicação dos princípios do Lean Manufacturing em uma indústria de esquadrias de alumínio. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 8(1), e582. <https://doi.org/10.32358/rpd.2022.v8.582>
- Pakes, A. S., Oliveira, M. A., & Rodrigues, V. F. (2022). Uso das ferramentas da qualidade e ciclo PDCA na redução de defeitos em uma indústria têxtil. *Revista Gestão & Tecnologia*, 22(1), 42-59. <https://doi.org/10.20397/2177-6652/2022.v22i1.2031>
- Silva, R. B., Mendes, G. H. S., & Rocha, J. V. (2021). Cronoanálise aplicada em uma indústria de autopeças: Um estudo de caso. *Revista Engenharia de Produção*, 19(2), 80-93. <https://doi.org/10.5433/rep.v19n2.2021.8512>
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2020). Administração da produção (8ª ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Srinivasan, A., Ramu, N., & Karupiah, R. (2024). Lean manufacturing implementation in steel industry: Empirical evidence and case analysis. *Journal of Manufacturing*

- Technology Management*, 35(1), 123-139. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2023-0419>
- Zhang, H., Hu, Y., & Ma, Y. (2018). Intelligent layout optimization of automated warehouse based on evolutionary algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.015>