



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Pedro Coura Vieira

**ESTUDO DE LAYOUT E
APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS
DO LEAN MANUFACTURING EM
UMA EMPRESA DE REMOLD DE
PNEUS**

**Campo Grande
2025**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Pedro Coura Vieira

**ESTUDO DE LAYOUT E
APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS
DO LEAN MANUFACTURING EM
UMA EMPRESA DE REMOLD DE
PNEUS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado na Faculdade de
Engenharias, Arquitetura e
Urbanismo e Geografia (FAENG) no
Curso de Bacharel em Engenharia de
Produção para a obtenção do título de
formado.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Lucas de Oliveira (Orientador)

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dra. Kassia Tonheiro Rodrigues

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dra. Aline Soares Pereira

Universidade Federal de Pelotas

Campo Grande

2025



RESUMO

No atual cenário industrial de alta competitividade, a busca por eficiência e a eliminação de desperdícios são cruciais para a sustentabilidade das empresas. A filosofia *Lean Manufacturing* surge como um sistema de gestão consolidado para otimizar processos e maximizar o valor entregue ao cliente. Este estudo teve por objetivo implantar a melhoria de processos por meio da filosofia *Lean Manufacturing* em uma empresa de Remold de Pneus, tendo como ponto de partida o layout da organização. Para os procedimentos metodológicos foi utilizado o estudo da empresa e de seus processos por meio do mapeamento de processos e da cronoanálise. A análise aprofundada do fluxo produtivo, foi realizada com o auxílio do diagrama de espaguete, e revelou um excesso significativo de movimentação de materiais e pessoas, apontando o arranjo físico como a principal causa de desperdício. Com base neste diagnóstico, foi projetada e implementada uma mudança estratégica no *layout* da fábrica. Os resultados alcançados demonstraram uma redução de 22,01% na distância de movimentação. Essas melhorias no fluxo impactaram diretamente o desempenho da linha, resultando em um aumento de 13,81% na produtividade real da empresa.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing, Layout, Diagrama de Espaguete, Remold de Pneus.*



ABSTRACT

In today's highly competitive industrial landscape, the pursuit of efficiency and the elimination of waste are crucial for the sustainability of companies. The Lean Manufacturing philosophy emerges as a consolidated management system to optimize processes and maximize the value delivered to the customer. This study aimed to implement process improvement through the Lean Manufacturing philosophy in a tire remolding company, starting with the organization's layout. The methodological procedures involved studying the company and its processes through process mapping and time and motion studies. An in-depth analysis of the production flow, conducted using spaghetti diagrams, revealed a significant excess of material and personnel movement, pointing to the physical layout as the main cause of waste. Based on this diagnosis, a strategic change in the factory layout was designed and implemented. The results achieved demonstrated a 22.01% reduction in movement distance. These improvements in flow directly impacted line performance, resulting in a 13.81% increase in the company's actual productivity.

Keywords: Lean Manufacturing, Layout, Spaghetti Diagram, Tire Remolding.



LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Oito Desperdícios segundo a Filosofia lean manufacturing.....	12
Quadro 2 - Classificação metodológica da pesquisa.....	16
Quadro 3 - Legenda do layout produtivo atual.....	22
Quadro 4 - Legenda do layout produtivo atual em metros.....	28
Quadro 5 – Detalhamento das alterações e melhorias no novo layout.....	32
Quadro 6 - Quadro de comparação das distâncias (m).....	35
Quadro 7 - Comparativo dos Tempos de Ciclo (s).....	36
Gráfico 1 - Redução de distâncias (%) no novo layout comparado ao antigo.....	35



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Implementação do <i>Lean</i>	11
Figura 2 - Mapa de Fluxo de Valor (estado presente)	13
Figura 3 - Símbolos do MFV.....	14
Figura 4 - Etapas da pesquisa.....	17
Figura 5 - Fluxograma da produção.....	20
Figura 6 - Layout produtivo do estado atual.....	21
Figura 7 – Esquema da fragmentação dos setores produtivos.....	22
Figura 8 - Mapeamento do fluxo.....	24
Figura 9 - Diagrama de espaguete da produção antes da aplicação do método lean.....	26
Figura 10 - Proposta de layout otimizado (Estado Futuro)	31
Figura 11 - Proposta de layout otimizado (Estado Futuro).....	34



Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	5
<i>1.1 Contextualização</i>	<i>5</i>
<i>1.2 Problematização</i>	<i>6</i>
<i>1.3 Objetivo</i>	<i>6</i>
<i>1.3.1 Objetivo Geral</i>	<i>6</i>
<i>1.3.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4 Justificativa</i>	<i>7</i>
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
<i>2.1 Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing)</i>	<i>8</i>
<i>2.2 Os Oito Desperdícios da Manufatura Enxuta.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3 Ferramentas para Análise e Melhoria de Processos</i>	<i>9</i>
<i>2.3.1 Mapeamento de Processos.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3.2 Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM - Value Stream Map)</i>	<i>10</i>
<i>2.3.3 Cronoanálise</i>	<i>11</i>
<i>2.3.4 Diagrama de Espaguete.....</i>	<i>12</i>
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	13
<i>3.1 Caracterização da pesquisa.....</i>	<i>13</i>
<i>3.2 Local de estudo.....</i>	<i>13</i>
<i>3.3 Técnicas de pesquisa.....</i>	<i>13</i>
<i>3.4 Escolha da família de produtos.....</i>	<i>15</i>
4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	16
<i>4.1 Mapeamento do Processo e Diagnóstico</i>	<i>16</i>
<i>4.1.1 Fluxograma do Processo.....</i>	<i>16</i>
<i>4.1.2 Análise do layout atual</i>	<i>17</i>
<i>4.1.3 Diagrama de Espaguete (Estado presente)</i>	<i>20</i>
<i>4.1.4 Análise do Desperdício de Movimentação e Transporte.....</i>	<i>26</i>
<i>4.2 Proposta de melhoria e implantação (Estado futuro)</i>	<i>27</i>
<i>4.2.1 Análise do Novo Layout</i>	<i>29</i>
<i>4.2.2 Validação da Melhoria</i>	<i>29</i>
5 CONCLUSÕES.....	34



1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O atual ambiente industrial global impõe às organizações o desafio constante de aprimorar sua competitividade por meio da otimização de seus processos produtivos (MOREIRA, 2011). Nesse cenário, a capacidade de produzir com maior qualidade, menor custo e em menor tempo tornou-se um fator determinante para o sucesso. Para responder a essa demanda, surgiu o Sistema Toyota de Produção, uma filosofia de gestão que visa a eliminação completa de todas as formas de desperdício dos processos (OHNO, 1997). Esta abordagem, posteriormente difundida globalmente como Manufatura Enxuta ou *Lean Manufacturing*, baseia-se em princípios que buscam maximizar o valor agregado ao cliente, utilizando o mínimo de recursos necessários (LIKER, 2005).

A filosofia *Lean* propõe a identificação e a erradicação sistemática de atividades que não agregam valor, conhecidas como os "oito desperdícios", que incluem excesso de produção, tempo de espera, transporte desnecessário, superprocessamento, excesso de estoque, movimentação desnecessária, defeitos e o não aproveitamento da criatividade dos colaboradores (COUTINHO, 2020). Conforme Fleury (1993), a aplicação dessa mentalidade enxuta permite que as empresas transformem sua cultura organizacional, focando na melhoria contínua e na eficiência do fluxo de trabalho.

O setor de remoldagem de pneus, objeto deste estudo, insere-se nesse contexto como uma indústria de grande relevância econômica e ambiental. Ao reintroduzir no mercado um produto seguro e com custo competitivo, a remoldagem fortalece a economia circular. Contudo, para se manter viável, o processo produtivo de remoldagem, que é intensivo em mão de obra e movimentação de materiais, precisa ser altamente eficiente. Muitas vezes, um dos maiores ofensores da produtividade em ambientes fabris é um arranjo físico (*layout*) inadequado, que gera movimentações excessivas e pode ser diagnosticado com ferramentas específicas, como o Diagrama de Espaguete (LIMA, 2019).



1.2 Problematização

A movimentação desnecessária de materiais e pessoas é um dos desperdícios mais críticos e, frequentemente, um sintoma direto de um layout mal planejado (ALBERTIN; PONTES, 2016). Em uma linha de produção de remoldagem de pneus, onde carcaças pesadas são transportadas entre múltiplas estações de trabalho, um fluxo de produção não otimizado resulta em perdas significativas: aumento do tempo total de produção (*lead time*), fadiga excessiva dos operadores, risco de acidentes e gargalos que limitam a capacidade produtiva (TOMPKINS; LAVASSEUR, 1996).

Nesse sentido, a empresa estudada, neste trabalho, adivinha de desafios operacionais pelos quais geravam fluxo de trabalho confuso e baixa produtividade, fatores que impulsionaram a demanda do estudo, isto é, arranjo físico deficiente e estudo de desperdícios. Diante desse cenário, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: Como a reestruturação do arranjo físico (layout), fundamentada na filosofia *Lean Manufacturing* e na ferramenta do Diagrama de Espaguete, pode reduzir os desperdícios de movimentação e aumentar a produtividade em uma empresa de remoldagem de pneus?

1.3 Objetivo

Para responder à questão de pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Este estudo tem por objetivo implementar a filosofia *Lean Manufacturing* em uma empresa de Remold de Pneus, tendo como ponto de partida o *layout* da organização.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar e mapear o processo produtivo atual da empresa, identificando as etapas e setores produtivos, juntamente com o fluxo de valor;
- b) Realizar a cronoanálise das operações para identificar os tempos de ciclo e os gargalos do processo, e verificar o fluxo de materiais e de pessoas por meio do Diagrama de Espaguete, para quantificar o desperdício de movimentação no *layout* atual;
- c) Projetar um novo arranjo físico (*layout*) focado na otimização do fluxo contínuo e na minimização de transportes



- d) Validar os indicadores de produtividade e movimentação com base na comparação de dados reais de produtividade do novo *layout* versus o *layout* anterior.

1.4 Justificativa

A relevância deste estudo reside na implementação de uma filosofia de gestão consolidada no contexto industrial. Para a empresa, a implementação das melhorias propostas representa uma oportunidade direta de redução de custos operacionais, aumento da capacidade produtiva e, consequentemente, ganho de competitividade (HINES, 2000).

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho contribui com um estudo empírico prático, demonstrando como ferramentas enxutas podem ser aplicadas para resolver problemas reais de produção (SAIA, 2009; AZEVEDO, 2017). Ele serve como um manual de aplicação para futuras pesquisas e aplicações em empresas de pequeno e médio porte que enfrentam desafios semelhantes.

Por fim, sob a ótica social e ambiental, a otimização do processo de remoldagem de pneus fortalece a cadeia da economia circular, incentivando o reaproveitamento de recursos e contribuindo para a redução do impacto ambiental associado ao descarte de pneus. O que por si torna-se relevante o estudo desta prática para aumentar a eficiência e a sustentabilidade.



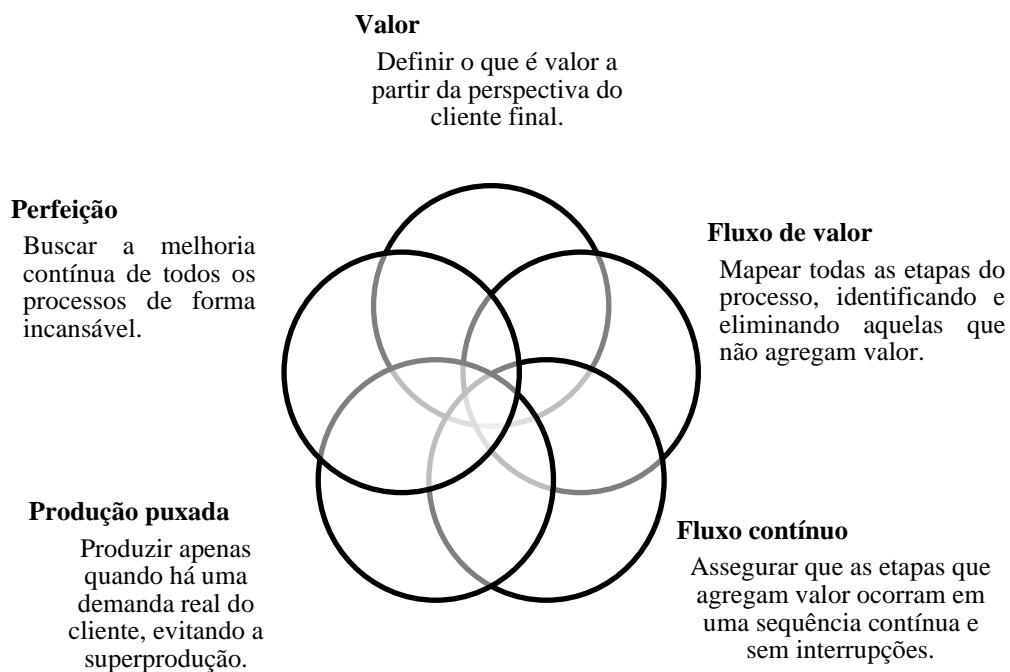
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*)

A Manufatura Enxuta, ou *Lean Manufacturing*, é um sistema de gestão integrado que busca a otimização da produção por meio da eliminação contínua de desperdícios (HOWELL, 2010). Sua origem remonta ao Sistema Toyota de Produção, desenvolvido no Japão pós-Segunda Guerra Mundial sob a liderança de Taiichi Ohno. O objetivo era criar um sistema capaz de produzir com alta qualidade, baixo custo e tempos de entrega rápidos, em um cenário de recursos escassos (OHNO, 1997).

O sistema é sustentado por uma "mentalidade enxuta" que permeia toda a organização, focada em maximizar o valor agregado ao produto sob a perspectiva do cliente, utilizando o mínimo de recursos possível (SILVA, 2018). A filosofia é guiada por cinco princípios essenciais que direcionam a jornada de implementação (Figura 1).

Figura 1 - Implementação do *Lean*



Fonte: Adaptado de (NETTO, 2020)



2.2 Os Oito Desperdícios da Manufatura Enxuta

A base da filosofia *Lean* é a identificação e eliminação sistemática de desperdícios, também conhecidos como *Muda*. Originalmente, Ohno (1997) identificou sete desperdícios, aos quais foi posteriormente adicionado um oitavo, relacionado ao potencial humano. A eliminação dessas atividades que consomem recursos sem agregar valor é o caminho para o aumento da eficiência e da produtividade (COUTINHO, 2020). Os oito desperdícios serão melhor apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Oito Desperdícios segundo a filosofia *lean manufacturing*

Desperdícios	Conceito
Processamento Impróprio	Compreende o processamento excessivo, indo além do que o cliente solicita, ou a falta de uma sequência lógica e padronizada no processo.
Produção Excessiva	Consiste em produzir mais materiais ou informações do que o estritamente necessário, o que pode levar a um aumento de outros desperdícios.
Estoque	Refere-se ao armazenamento excessivo de insumos, matérias-primas, produtos intermediários e produtos acabados, representando "dinheiro parado"
Transporte	Atrelado ao transporte dispensável de materiais, funcionários e informações dentro do processo, que não agrupa valor ao produto.
Movimentos Desnecessários	Diz respeito à movimentação excessiva e desnecessária de equipamentos ou colaboradores, cujo tempo poderia ser usado para agregar valor.
Defeitos e Retrabalho	Considera a produção de produtos defeituosos que precisam ser retrabalhados ou descartados, gerando gastos de materiais, recursos e mão de obra.
Espera	Refere-se à inoperância ou tempo ocioso de funcionários, máquinas e outros recursos durante o processo produtivo.
Intelectual	Quando as habilidades e as ideias dos colaboradores não são bem aproveitadas ou incentivadas no processo.

Fonte: Adaptado de Voitto (2024).

2.3 Ferramentas para Análise e Melhoria de Processos

Para colocar em prática os princípios *Lean* e eliminar os desperdícios, utiliza-se um conjunto de ferramentas analíticas e visuais. Este trabalho se concentra nas ferramentas aplicadas para o diagnóstico e a reestruturação de layout como, por exemplo, mapeamento de processos, mapeamento de fluxo de valor, cronoanálise e diagrama de esaguete.

2.3.1 Mapeamento de Processos

O primeiro passo para a melhoria é a compreensão profunda do estado atual, dessa



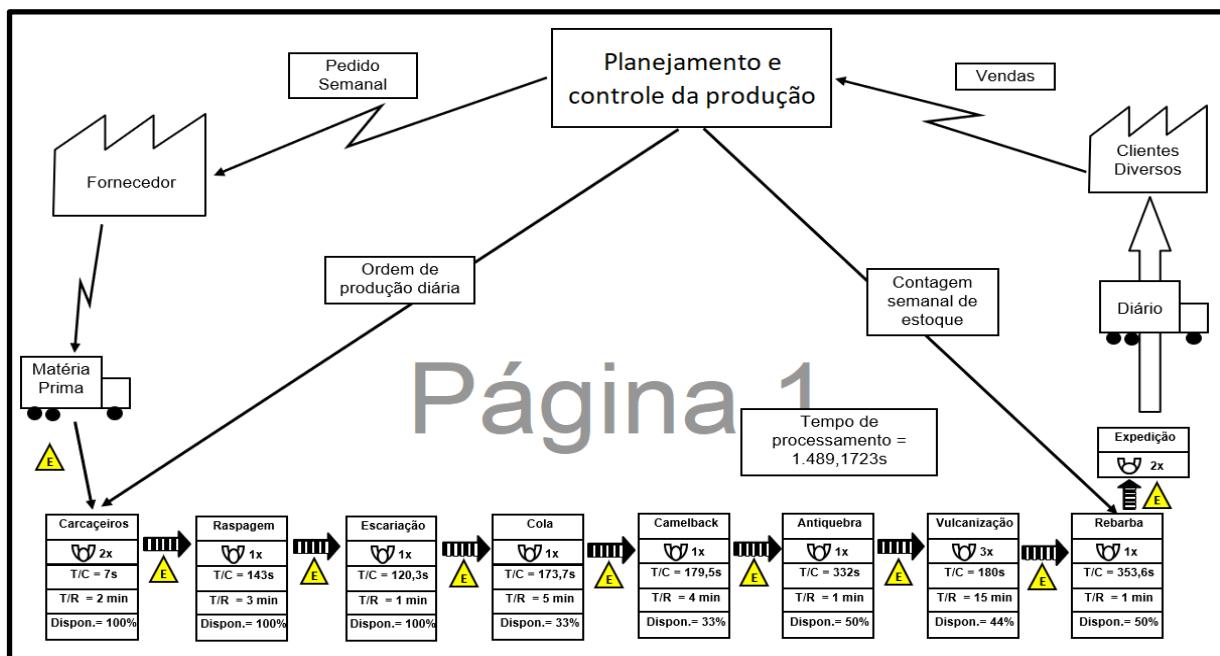
forma o Mapeamento de Processos atua como uma técnica que consiste em criar uma representação visual (fluxograma) de todas as etapas, atividades, decisões e fluxos de um determinado processo. Ele permite identificar de forma clara como o trabalho é executado, quem são os responsáveis e onde ocorrem as interações, sendo fundamental para padronizar a visão sobre o processo e identificar os primeiros pontos de melhoria (MOREIRA, 2004).

2.3.2 Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM - Value Stream Map)

Enquanto o Mapeamento de Processos foca no fluxo de atividades, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV ou VSM) é uma ferramenta *Lean* mais específica, que visualiza tanto o fluxo de materiais quanto o de informações ao longo de toda a cadeia produtiva (MOREIRA; FERNANDES, 2001). O VSM permite analisar o processo sob a ótica do valor, diferenciando claramente as atividades que agregam valor daquelas que não agregam (desperdícios). O resultado é um mapa do "estado atual" que quantifica tempos de ciclo, tempos de espera e o *lead time* total. A partir deste diagnóstico, projeta-se um mapa do "estado futuro", com as melhorias implementadas para criar um fluxo mais enxuto (SALGADO et al., 2009).

A Figura 2 ilustra a aplicação da técnica de Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) para modelar um processo. O diagrama expõe a jornada do produto e das informações associadas, abrangendo todo o ciclo, desde o fornecedor de peças até a entrega ao cliente.

Figura 2 - Mapa de Fluxo de Valor (estado presente)

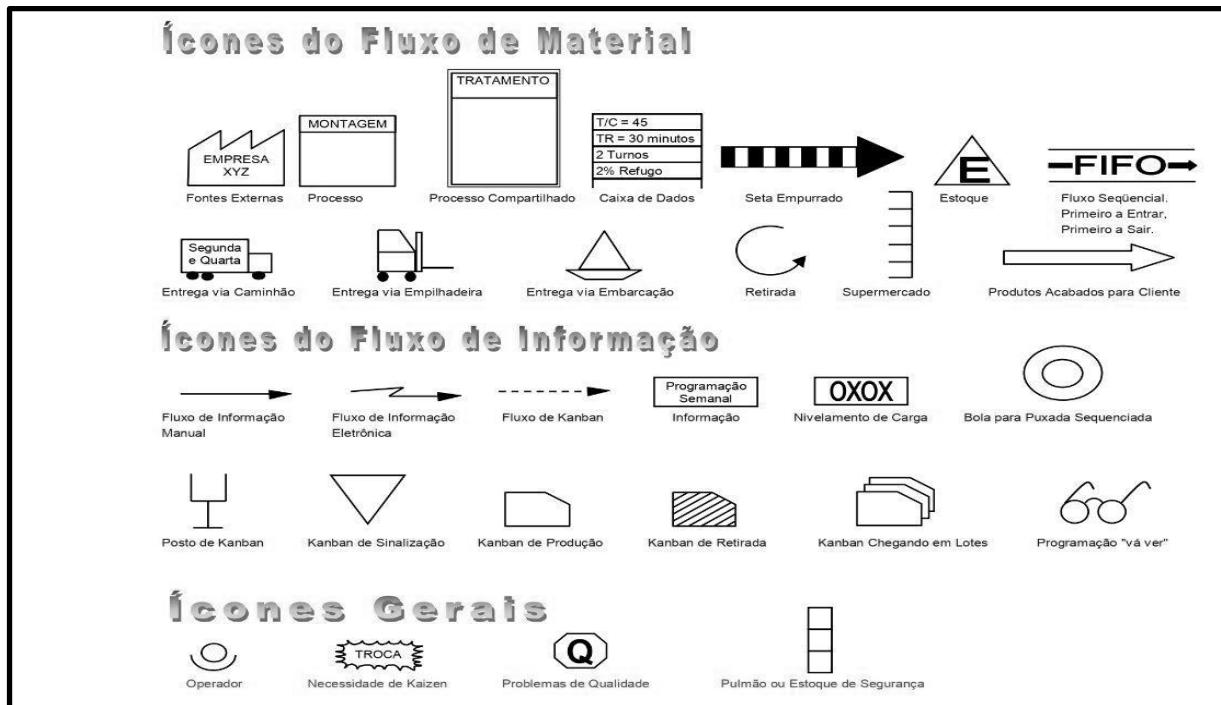


Fonte: Autor (2025).



O MFV faz uso de diversos ícones específicos para os mapeamentos dos estados atual e futuro. Alguns desses ícones estão listados na Figura 3.

Figura 3 - Símbolos do MFV.



Fonte: *Lean Institute Brasil* (1998).

A Figura 3 apresenta a simbologia-padrão que torna o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) uma ferramenta funcional e de comunicação universal. O conhecimento destes ícones é o que permite aprender a enxergar o processo, diferenciando o fluxo de material do fluxo de informação e, principalmente, identificando as fontes de desperdício (como estoques ou gargalos). Sem o domínio desta linguagem visual, o mapa do processo seria apenas um desenho, com ela, ele se torna uma ferramenta poderosa de diagnóstico.

2.3.3 Cronoanálise

A Cronoanálise é uma ferramenta da engenharia de produção utilizada para medir o tempo gasto na execução de uma determinada tarefa ou operação em condições normais. Através da observação direta e do uso de um cronômetro, são coletadas amostras de tempo que, após tratamento estatístico, permitem determinar o "tempo padrão" de uma atividade (TOMPKINS; LAVASSEUR, 1996). No contexto *Lean*, a cronoanálise é essencial para



identificar gargalos (operações mais lentas que restringem o fluxo), balancear a linha de produção e fornecer dados quantitativos para o VSM, validando os tempos de ciclo de cada etapa (MOREIRA, 2004).

2.3.4 Diagrama de Espaguete

O Diagrama de Espaguete é uma ferramenta visual de simples aplicação e alto impacto, utilizada para mapear e analisar o desperdício de movimentação e transporte dentro de uma área de trabalho (LIMA, 2019). A técnica consiste em desenhar, sobre uma planta baixa (layout) da área estudada, as linhas que representam o caminho percorrido por um operador, um material ou um produto durante a execução de um processo.

O nome "espaguete" deriva da aparência do diagrama final, que frequentemente se assemelha a um prato de espaguete emaranhado, especialmente em processos com layout ineficiente (LIMA, 2019). Ao visualizar o fluxo físico de forma explícita, o diagrama revela padrões de movimento, cruzamentos de fluxo, distâncias excessivas e rotas ilógicas que, de outra forma, poderiam passar despercebidos. A análise do diagrama permite quantificar a distância total percorrida e o tempo gasto em movimentação, tornando-se uma poderosa justificativa para projetos de reorganização do arranjo físico. O objetivo é redesenhar o layout para que as linhas do diagrama se tornem mais curtas, retas e lógicas, minimizando o desperdício e otimizando o fluxo de trabalho (BARREIRA, 2011).



3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Caracterização da pesquisa

Esse estudo quanto a sua finalidade é considerado de natureza aplicada, pois busca a introdução de melhorias aplicáveis na operação de uma organização. O detalhamento metodológico desta pesquisa pode ser observado no Quadro 2

Quadro 2 - Classificação metodológica da pesquisa.

Classificação	Descrição
Natureza	Pesquisa de natureza aplicada, pois busca resolver um problema prático.
Objetivos	Pesquisa descritiva e explicativa, pois descreve o processo e explicará os resultados.
Abordagem	Abordagem combinada, utilizando a análise qualitativa (da revisão teórica) e a quantitativa (dos dados do estudo de caso).
Método	O método de trabalho é o estudo de caso, ideal para analisar em profundidade a empresa objeto do estudo.

Fonte: Adaptado de Miguel (2010) e Gil (2022).

3.2 Local de estudo

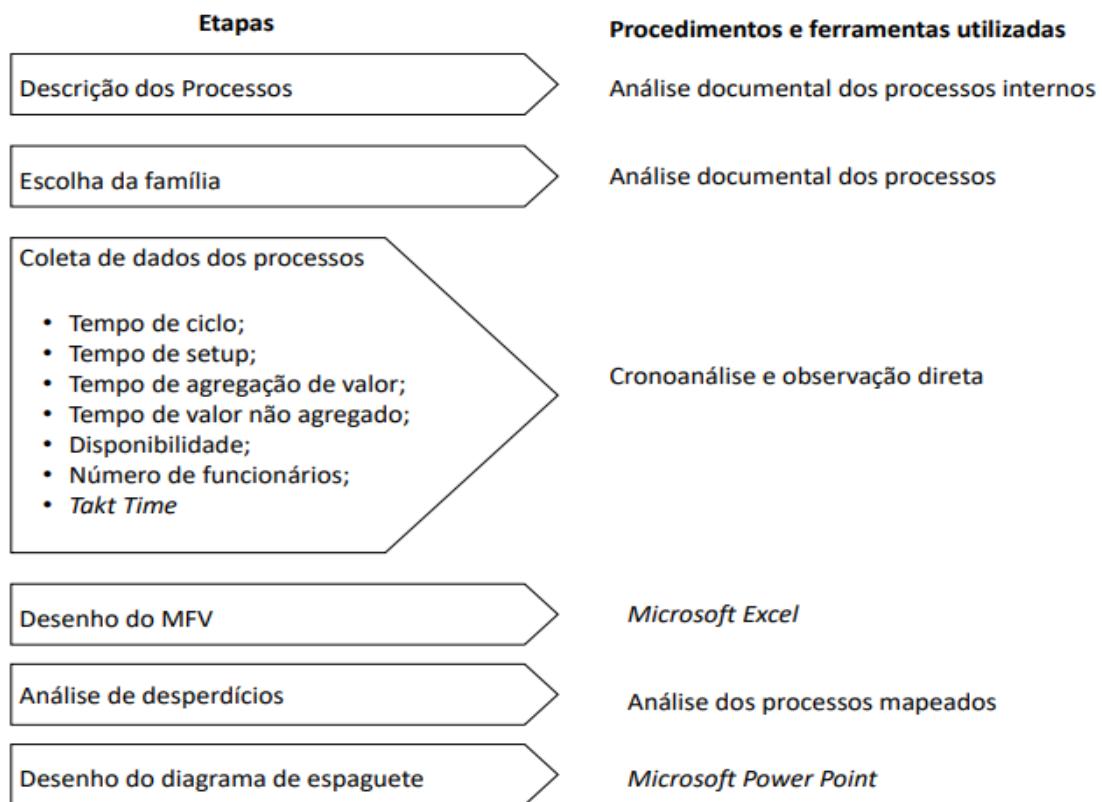
O estudo foi realizado na empresa “X”, que possui característica operativa de pequeno porte no ramo de remoldes de pneus. Situada no estado de Mato Grosso do Sul, a empresa foi fundada em 2020. A empresa possui sete colaboradores efetivos dentro do seu quadro de funcionários, e consta com um espaço físico de aproximadamente de 1.180 m².

3.3 Técnicas de pesquisa

A coleta de dados primários foi realizada por meio do acompanhamento in loco da rotina produtiva da empresa. Esta observação direta no chão de fábrica, de caráter informal e espontâneo, permitiu o levantamento das variáveis essenciais para o diagnóstico. Desta forma, foi realizada a cronometragem de tempos de ciclo, tempos que agregam e não agregam valor, e tempos de setup (troca) dos processos. As etapas da pesquisa estão descritas na Figura 4.



Figura 4 - Etapas da pesquisa.



Fonte: Autor (2025).

Adicionalmente, foram conduzidas entrevistas informais com gestores, líderes e operadores para contextualizar os dados quantitativos e compreender a percepção da equipe sobre os problemas. Durante essas conversas, foram utilizados questionamentos direcionados para investigar a origem dos desperdícios, tais como: (i) 'Quantas vezes por turno é necessário se deslocar até o anexo para buscar matéria-prima?'; (ii) 'Qual etapa do processo gera maior cansaço físico ao final do dia?'; (iii) 'Existe algum momento em que você precisa parar e esperar acumular material para continuar?'; (iv) 'Na visão da liderança, o layout atual ajuda ou atrapalha o ritmo da produção?'. As respostas obtidas permitiram identificar dores ocultas do processo, como a fadiga excessiva gerada pelo transporte manual e os tempos de espera por formação de lote, fatores subjetivos que não seriam captados apenas pela cronoanálise.

Outra fonte de dados relevante foi a análise documental, que envolveu a verificação de registros e acompanhamentos de produção, procedimentos operacionais e fluxogramas existentes na empresa. Esta análise proporcionou um entendimento aprofundado sobre os métodos, ferramentas e técnicas já padronizados ou utilizados pelos operadores na fabricação dos pneus remoldados.



A etapa de coleta de dados *in loco* foi conduzida ao longo de um período de aproximadamente três meses, totalizando cerca de 20 visitas técnicas à fábrica. Durante essas visitas, foram dedicadas mais de 60 horas de observação direta para o acompanhamento dos fluxos operacionais e validação das cronoanálises. Esse período permitiu observar o processo em diferentes dias da semana e horários, garantindo que os dados coletados representassem a variabilidade real da produção e não apenas um cenário isolado.

Com base no conjunto de dados coletados, foi possível construir o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) e o Diagrama de Espaguete do estado atual do processo. Para a elaboração destes mapas, bem como dos diagramas do estado futuro, foi utilizado o Microsoft PowerPoint e Excel como ferramenta de desenho e diagramação.

A análise detalhada do mapa atual permitiu identificar visualmente os principais desperdícios que ocorriam em cada etapa. Isto possibilitou a elaboração de um mapa do estado futuro, que serviu como base para a proposta de implementação das práticas Lean, visando a redução dos desperdícios e a transposição das barreiras que impediam a criação de um fluxo enxuto.

3.4 Escolha da família de produtos

A linha de produção analisada foi a de pneus de pequeno porte, foi selecionada estrategicamente por ser a linha de maior volume de vendas da empresa, impulsionada pelo seu custo mais baixo e, consequentemente, maior demanda no mercado.

Com base na análise documental dos registros de produção, o *mix* de produtos da fábrica foi estratificado em duas categorias distintas, o que fundamentou a delimitação do escopo: (i) Pneus de Passeio (Foco do Estudo): Linha de "pequeno porte", caracterizada pela alta rotatividade e intenso manuseio manual. Esta família engloba as medidas de Aro 13 (165/70, 175/70), Aro 14 (175/65, 175/70) e Aro 15 (185/60, 185/65, 195/55, 195/60, 195/65); (ii) Pneus de Camionete (Fora do Escopo): Pneus de carga leve e utilitários, abrangendo medidas reforçadas de Aros 15, 16 e 17 (como 205/70 R15 a 265/70 R16), que não foram objeto desta análise devido ao menor volume produtivo. Aliado à questão do volume, a maior facilidade de acesso ao suprimento de carcaças (matéria-prima) para a linha de passeio (item i) tornava seu fluxo de produção mais constante e representativo da realidade fabril. Por ser a linha de maior giro, ela foi identificada como o setor com a maior oportunidade de melhoria, onde a eliminação de desperdícios no layout traria o maior impacto e retorno imediato para a organização.



4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Este capítulo apresenta a aplicação prática do estudo de caso, detalhando o diagnóstico do processo produtivo (Estado Atual), a solução de layout implementada (Estado Futuro) e a análise quantitativa dos resultados obtidos.

4.1 Mapeamento do Processo e Diagnóstico

O primeiro passo para a melhoria é a compreensão profunda do estado atual. Para tal, foi realizada uma imersão na rotina operacional da empresa, visando identificar não apenas a sequência de transformação do produto, mas principalmente as interrupções e desperdícios ocultos no processo diário.

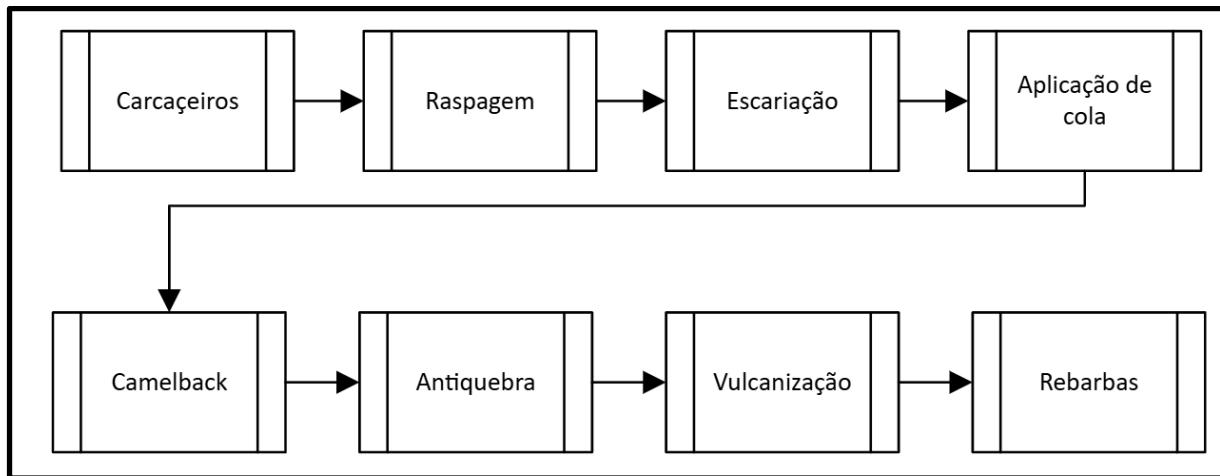
Nesta fase, a aplicação de ferramentas de visualização foi fundamental para confrontar o "como o processo deveria ser" (a lógica produtiva) com o "como o processo realmente é" (a realidade física). O diagnóstico detalhado a seguir investiga a interação entre as etapas de produção e o arranjo físico da fábrica, buscando evidenciar como a fragmentação do layout impacta negativamente o fluxo de valor e a produtividade da linha.

4.1.1 Fluxograma do Processo

O processo de remoldagem da analise é composto por 8 (oito) etapas principais de agregação de valor, conforme detalhado no fluxograma da figura 5. Este fluxograma representa a sequência ideal e lógica que o produto deve seguir, desde a triagem da carcaça até o acabamento.



Figura 5 - Fluxograma da produção.



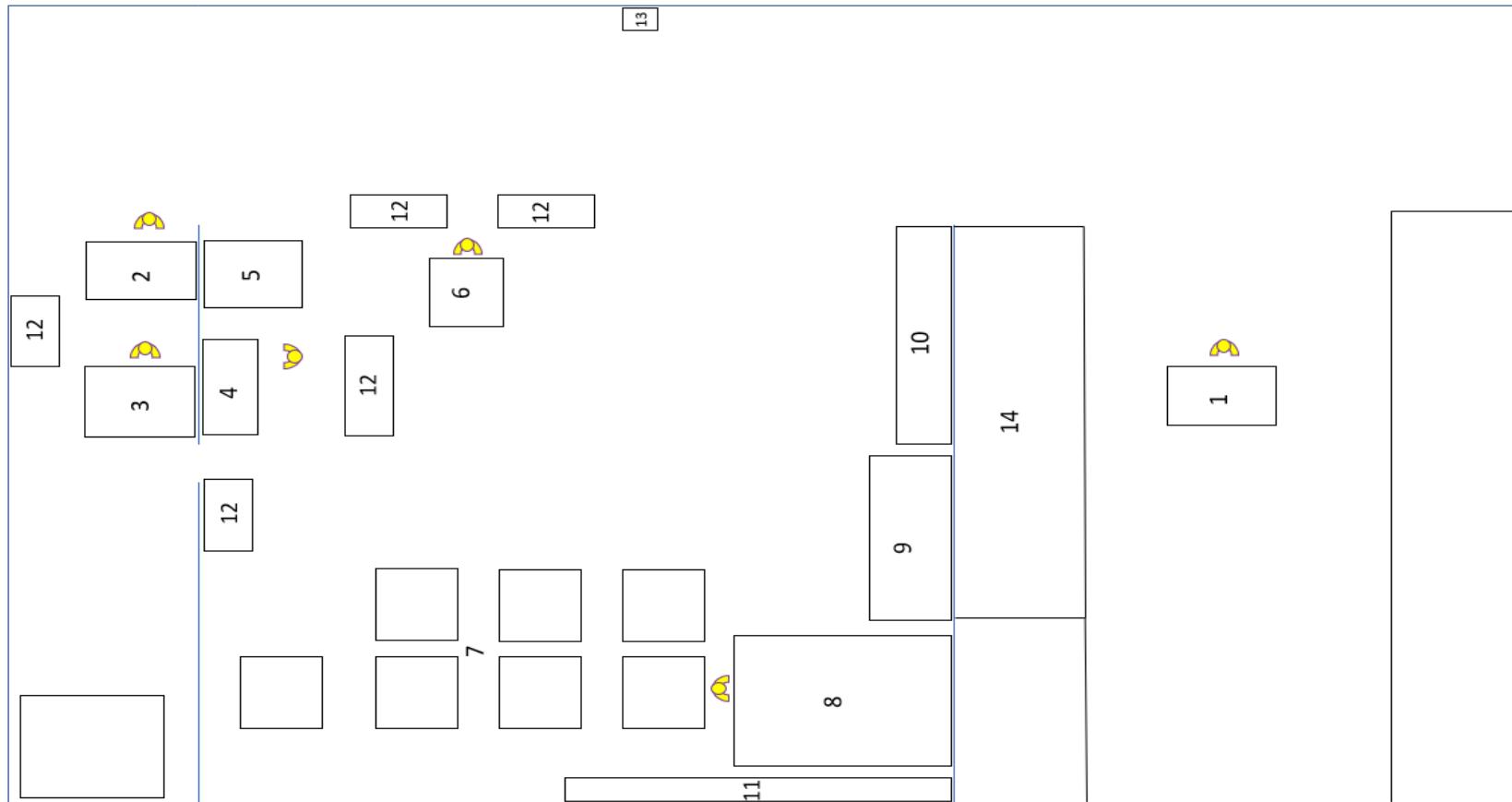
Fonte: Autor (2025).

4.1.2 Análise do layout atual

Apesar do fluxograma apresentar uma sequência lógica, o diagnóstico in loco revelou que o arranjo físico da fábrica não seguia essa ordem. A Figura 6 ilustra o layout estático da empresa antes da intervenção, com a identificação numérica de cada setor, máquina ou posto de trabalho. O Quadro 3 apresenta a legenda correspondente a cada número.



Figura 6 - Layout produtivo do estado atual.



Fonte: Autor (2025)



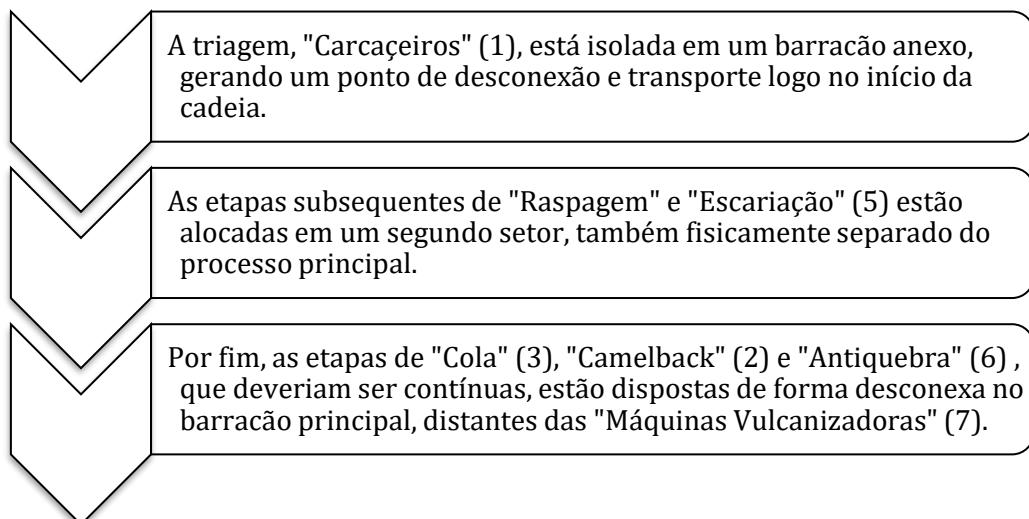
Quadro 3 - Legenda do layout produtivo atual.

Nº	Descrição	Nº	Descrição
1	Carcaçearo	8	Rebarbas
2	Raspagem	9	Produto Finalizado
3	Escariação	10	Matéria prima dos itens 5 e 6
4	Cola	11	Descartes
5	Camelback	12	Carrinho de estoque
6	Antiquebra	13	Solvente do item 4
7	Vulcanização	14	Carcaça

Fonte: Autor (2025).

A análise da Figura 6 e do Quadro 3 permite constatar a principal deficiência do processo: a incompatibilidade entre o fluxo lógico de valor e o arranjo físico. Enquanto o fluxograma apresentado na Figura 5 define uma sequência linear de 8 etapas, o arranjo físico revelou que o fluxo de valor não é contínuo, mas sim seccionado em diferentes edificações. Para sintetizar visualmente essa fragmentação e facilitar a compreensão do impacto logístico entre os setores, elaborou-se o esquema apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Esquema da fragmentação dos setores produtivos.



Fonte: Autor (2025).



Essa fragmentação estrutural impossibilita a criação de um fluxo contínuo, tornando-se a causa raiz dos principais desperdícios Lean do sistema: o transporte (movimentação de material entre setores) e a movimentação (esforço excessivo do operador dentro do setor). Esta deficiência é visualmente e quantitativamente comprovada na seção seguinte, através da análise do Diagrama de Espaguete.

4.1.3 Diagrama de Espaguete (Estado presente)

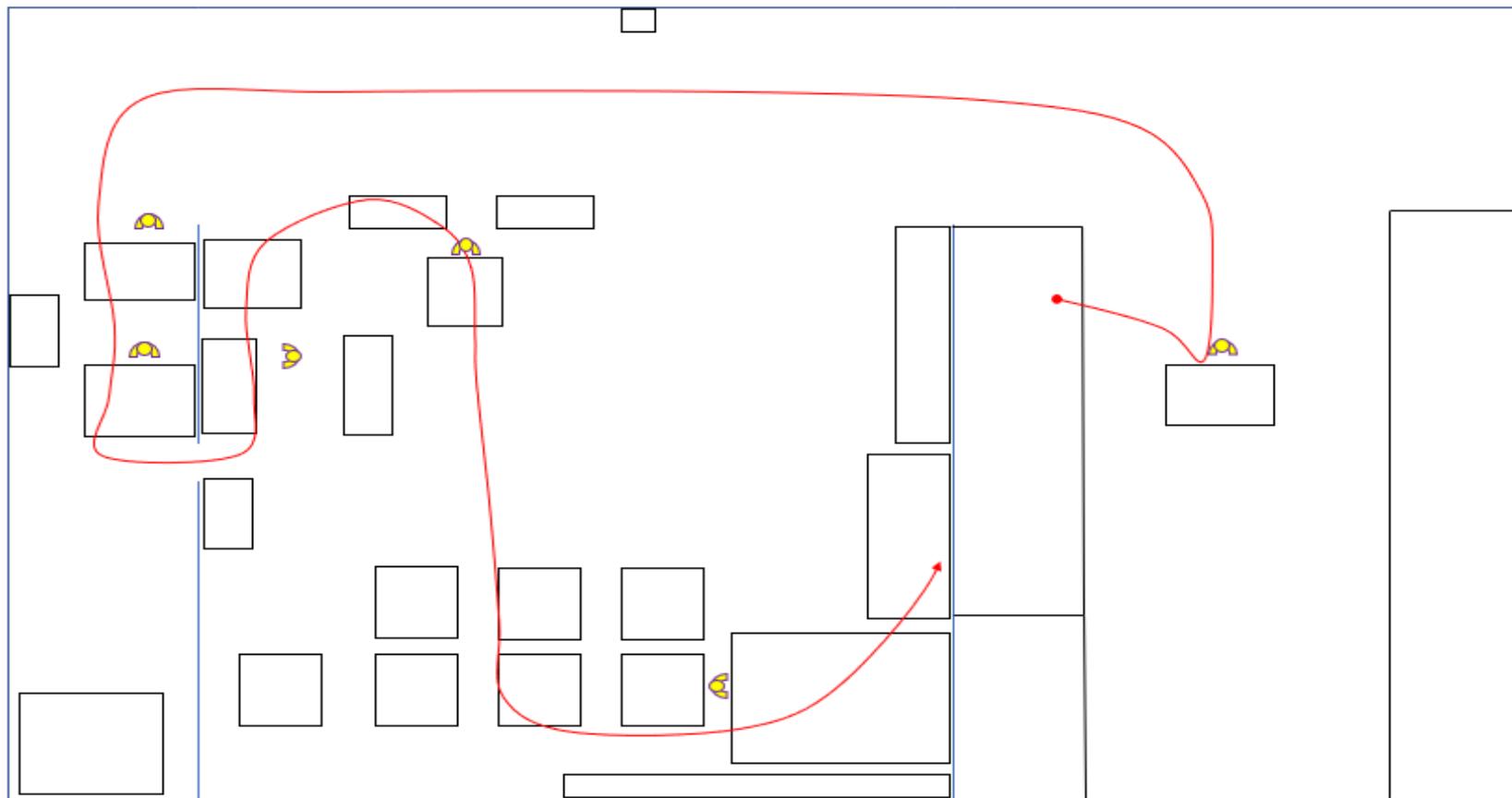
A análise anterior demonstrou que o layout era fragmentado. Para visualizar o impacto disso, a Figura 7 mapeia o fluxo macro do produto, ilustrando o longo caminho que o pneu era forçado a percorrer, desde o barracão de Carcaçeiros (1), passando pelo setor de preparação (Raspagem/Escariação) e, finalmente, cruzando o barracão principal até as etapas finais.

Essa representação gráfica torna evidente a desconexão física entre as etapas críticas de transformação. Ao observar a linha de fluxo, percebe-se que a distância entre o recebimento da matéria-prima e o início efetivo do processamento cria uma falha produtiva. Isso obriga a realização de transportes de longa distância para conectar os setores isoladas de produção, exigindo esforço manual excessivo e o uso constante de carrinhos de movimentação apenas para transpor o material de um setor ao outro.

Além da ineficiência logística, essa descontinuidade geográfica impõe um desgaste físico aos operadores. A necessidade constante de movimentar cargas entre os barracões expõe a equipe à fadiga excessiva e a riscos ergonômicos, fatores que degradam o ritmo de trabalho e a segurança operacional. No contexto do Lean Manufacturing, tal configuração gera atividades que não agregam valor ao produto. O tempo consumido exclusivamente com o transporte infla o lead time do processo e limita a capacidade produtiva real da fábrica. A Figura 8, traz o fluxo que era percorrido para a produção do produto.



Figura 8 - Mapeamento do fluxo.



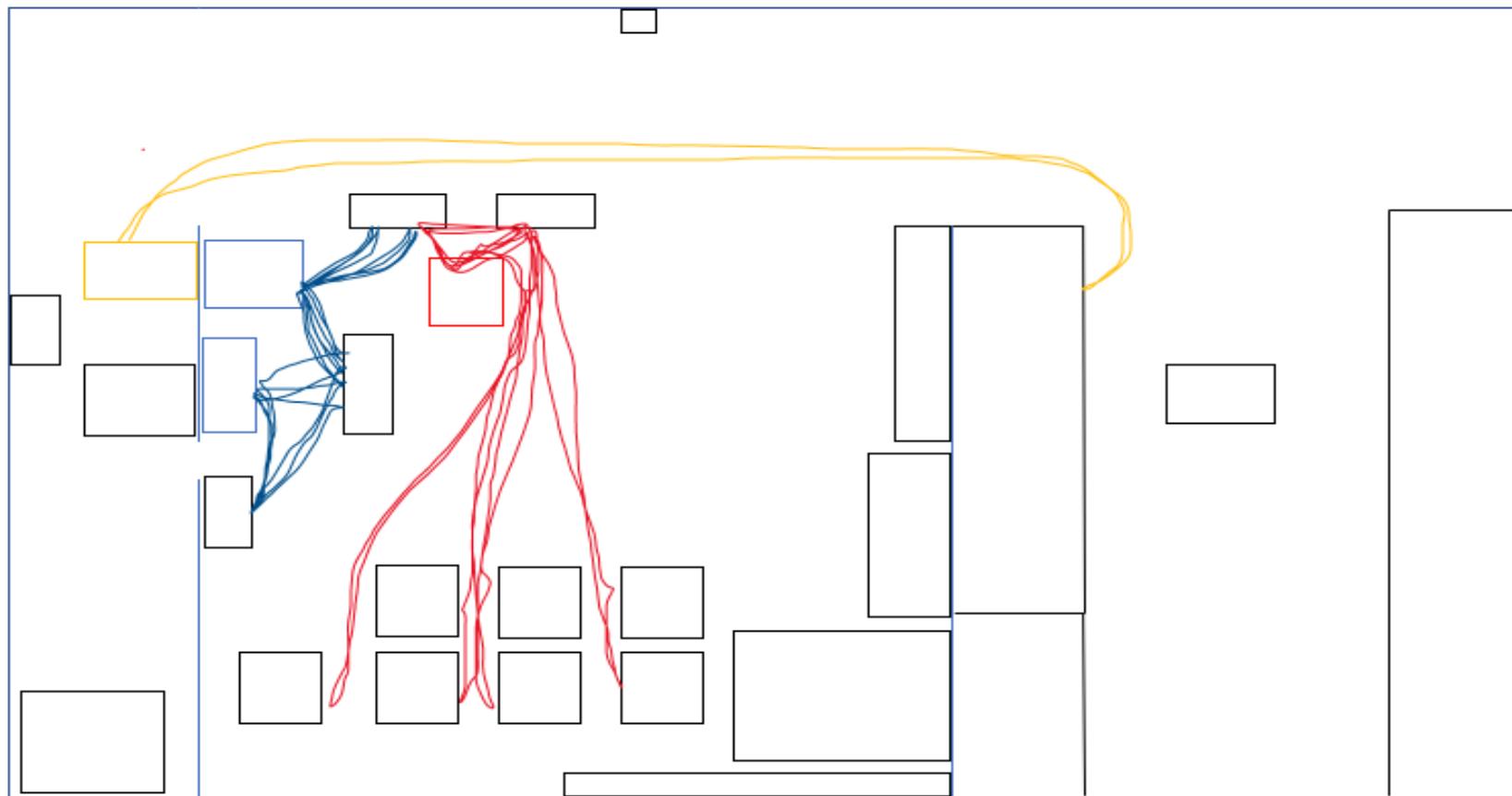
Fonte: Autor (2025).



A Figura 8 permitiu ilustrar o fluxo macro do produto, confirmando o grande desperdício de transporte entre os setores fisicamente separados. No entanto, para uma análise Lean completa, é fundamental investigar também os desperdícios dentro de cada posto de trabalho. A Figura 9, portanto, aprofunda o diagnóstico ao apresentar o Diagrama de Espaguete detalhado. Esta ferramenta decompõe o fluxo, rastreando os movimentos específicos de cada operador (representados pelas linhas coloridas). Isso permite revelar os padrões de movimentação desnecessária que não são visíveis na análise macro.



Figura 9 - Diagrama de espaguete da produção antes da aplicação do método *lean*.



Fonte: Autor (2025).



A Figura 9 expõe a realidade operacional do processo produtivo em seu estado atual. A análise visual do diagrama revela um fluxo de trabalho severamente fragmentado e não contínuo. Em vez de seguir uma linha progressiva de valor, o produto é submetido a interrupções constantes, obrigando os operadores a realizarem deslocamentos de retorno, cruzamentos de fluxo e transportes manuais de longa distância apenas para conectar etapas que deveriam ser sequenciais. Essa descontinuidade gera estoques intermediários em movimento e aumenta significativamente o tempo de atravessamento (lead time) de cada rodada de produção.

Para traduzir este diagnóstico visual em dados concretos, o quadro 4 a seguir quantifica as distâncias desperdiçadas em cada um desses fluxos descontínuos. É fundamental para a análise notar que os traçados não representam a produção de um único pneu, mas sim a movimentação total necessária para produzir uma "rodada" completa, que na empresa é composta por sete pneus. Para expressar os movimentos de cada operador de forma clara, foram utilizadas cores distintas. O quadro 4 apresenta a análise aprofundada de cada fluxo revela os desperdícios.



Quadro 4 - Legenda do layout produtivo atual em metros.

Fluxo (cor da linha)	Atividade	Característica	Distância (m)
Amarelo	Raspagem	Esta linha representa o desperdício de transporte intersetorial. Foi demonstrada apenas uma viagem de ida e volta, pois o operador utiliza um carrinho móvel para se deslocar até o barracão anexo (Carcaçeiros, 1). Nessa viagem, ele coleta 10 pneus, quantidade suficiente para suprir a demanda da rodada (sete pneus) e ainda manter um pequeno estoque local	61,6
Azul	Cola & Camelback	As múltiplas linhas emaranhadas representam o manuseio de cada um dos 7 pneus da rodada. Elas evidenciam o desperdício de movimentação, pois o operador é forçado a um ciclo repetitivo de "pegar e largar" cada pneu, primeiro para aplicar a Cola (4) e depois para aplicar o Camelback (5).	184,1
Vermelho	Antiquebra	Este é o desperdício de transporte interno mais crítico. Os diversos traçados de ida e vindas totalizam as aproximadamente 4 viagens que o operador precisa fazer, a pé, entre o seu posto (6) e as Máquinas Vulcanizadoras (7). O operador transporta os pneus manualmente, levando dois por vez (um em cada mão), sendo forçado a repetir este longo percurso para mover o lote completo de sete pneus. Para resumir e quantificar este diagnóstico, o quadro 4 a seguir detalha os tempos e distâncias medidos para cada um desses fluxos no estado atual.	229,6

Fonte: Autor (2025).



O Quadro 4 torna o diagnóstico claro, isto é, o layout atual força os operadores a gastarem tempo significativo em atividades que não agregam valor como, por exemplo, transporte, movimentação e espera. Dessa forma, justifica-se a intervenção no arranjo físico.

4.1.4 Análise do Desperdício de Movimentação e Transporte

A análise dos fluxos e do layout comprova que os desperdícios de Movimentação e Transporte são os mais críticos e evidentes na empresa pesquisada. Os problemas mais significativos são: (i) Layout fabril fragmentado em três setores físicos distintos (Carcaçeiros, Preparação e Barracão Principal); (ii) Postos de trabalho e máquinas alocados de forma desordenada, distantes entre si; e (iii) Criação de múltiplos estoques intermediários (WIP) desnecessários.

A causa raiz destes desperdícios, como apontado por Albertin & Pontes (2016), é o próprio arranjo físico deficiente. A fragmentação dos setores e a disposição das máquinas (detalhadas na Figura 6) não obedecem à sequência lógica do fluxograma (Figura 5), forçando os operadores a longos deslocamentos que não agregam valor. Diante disso, e analisando o Quadro 4 (que quantifica a Figura 8), observa-se o impacto real dessa desordem nos fluxos, como: (i) no fluxo amarelo, o operador da Raspagem é obrigado a percorrer 61,6 metros em uma viagem de transporte intersetorial (até o barracão de Carcaçeiros) apenas para buscar a matéria-prima; (ii) no Fluxo Azul (Cola e Camelback), a otimização focou na redução da movimentação interna do operador.

Diante disso, a realocação estratégica do estoque de Solvente (13) para a lateral imediata da máquina de Cola (4), somada à centralização da Matéria-Prima (10), eliminou os deslocamentos improdutivos de reabastecimento, garantindo que os insumos estejam sempre ao alcance das mãos e compactando o fluxo de trabalho. Por fim, ao processo de Antiquebra (fluxo vermelho), o desperdício é ainda mais evidente. O operador percorre um total de 229,6 metros, dividido em 4 viagens manuais, para transportar o lote de sete pneus do seu posto (6) até as Vulcanizadoras (7).

Portanto, os operadores, juntamente com o material, são forçados a percorrer longas distâncias desnecessárias. Isso ocasiona um evidente desgaste físico (fadiga), além de gerar tempo ocioso (espera) durante o transporte dos lotes e, consequentemente, aumentar o lead time do processo (TOMPKINS; LAVASSEUR, 1996).

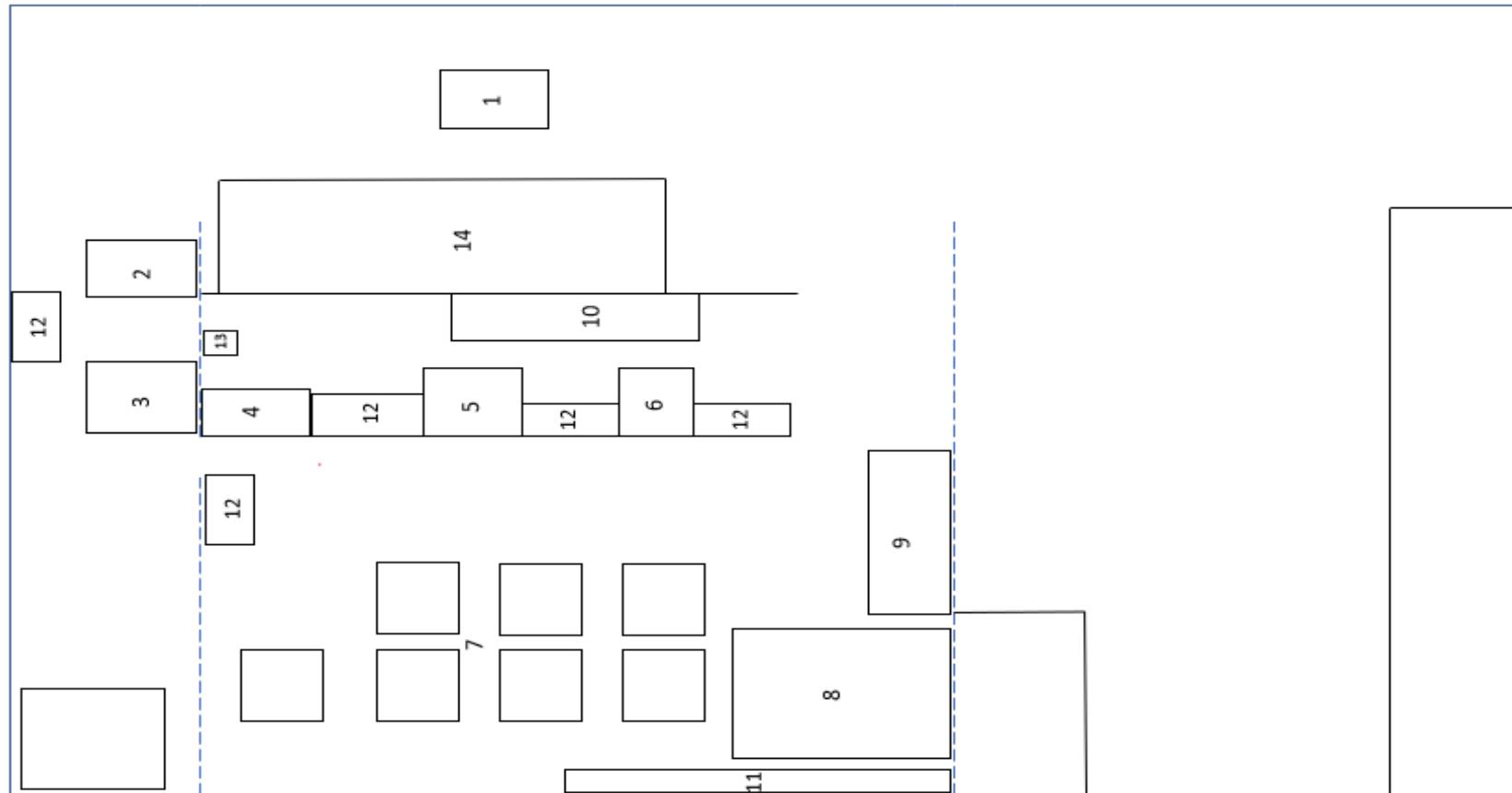


4.2 Proposta de melhoria e implantação (Estado futuro)

Com base no diagnóstico que identificou o arranjo físico fragmentado como a causa raiz dos desperdícios, foi projetada e implementada uma reestruturação do layout. O objetivo da proposta foi eliminar as movimentações e transportes desnecessários, alinhando a disposição física dos postos de trabalho à sequência lógica do fluxo de valor (Figura 5), seguindo os princípios do *Lean Manufacturing* (BARREIRA, 2011). Na figura 10, apresenta-se o novo layout otimizado da empresa (Estado Futuro), com a realocação dos postos de trabalho. A legenda dos números segue a estruturada no utilizada no Quadro 3.



Figura 10 - Proposta de layout otimizado (Estado Futuro).



Fonte: Autor (2025).



4.2.1 Análise do Novo Layout

A principal mudança implementada foi a unificação do processo. O arranjo físico foi redesenhado para que todas as oito etapas do fluxograma ocorressem dentro de um único barracão, criando um fluxo contínuo. Analisando a Figura 10, as seguintes mudanças estratégicas foram implementadas para resolver os problemas quantificados no quadro 4, e serão apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Detalhamento das alterações e melhorias no novo layout.

Fluxo (cor da linha)	Atividade	Alteração Física no Layout	Impacto no Processo (Resultados)
Amarelo	Raspagem	O setor "Carcaçeiros"(1) foi movido do barracão anexo para dentro do barracão principal, posicionado ao lado da Raspagem (2).	Eliminação do Transporte Intersetorial: O operador não precisa mais se deslocar para outro prédio para buscar a matéria-prima.
Azul	Cola & Camelback	Aproximação estratégica dos estoques de "Solvente" (13) e "Matéria Prima" (10) junto aos postos de Cola (4) e Camelback (5).	Redução de Movimentação: O operador tem os insumos ao alcance da mão, eliminando deslocamentos internos para reabastecimento.
Vermelho	Antiquebra	O posto da "Antiquebra" (6) foi realocado para ficar imediatamente ao lado das Máquinas Vulcanizadoras (7).	Fluxo Contínuo: Eliminação das 4 viagens manuais de transporte do lote. O pneu agora flui diretamente de uma etapa para a próxima.

Fonte: Autor (2025).

Adicionalmente, como uma melhoria de suporte aos fluxos azul e vermelho, o estoque principal de "Matéria Prima (10)" que abastece tanto o "Camelback" (5) quanto a "Antiquebra" (6) foi realocado para ficar centralizado e próximo a ambos os postos de trabalho. Isso reduz significativamente a movimentação dos operadores para buscar seus insumos de processo.

4.2.2 Validação da Melhoria

Para validar visualmente a eficácia do novo layout e comprovar a eliminação dos desperdícios, um novo Diagrama de Espaguete foi traçado. Essa nova simulação dos fluxos operacionais, segue as mesmas premissas do diagnóstico inicial: o trajeto necessário para

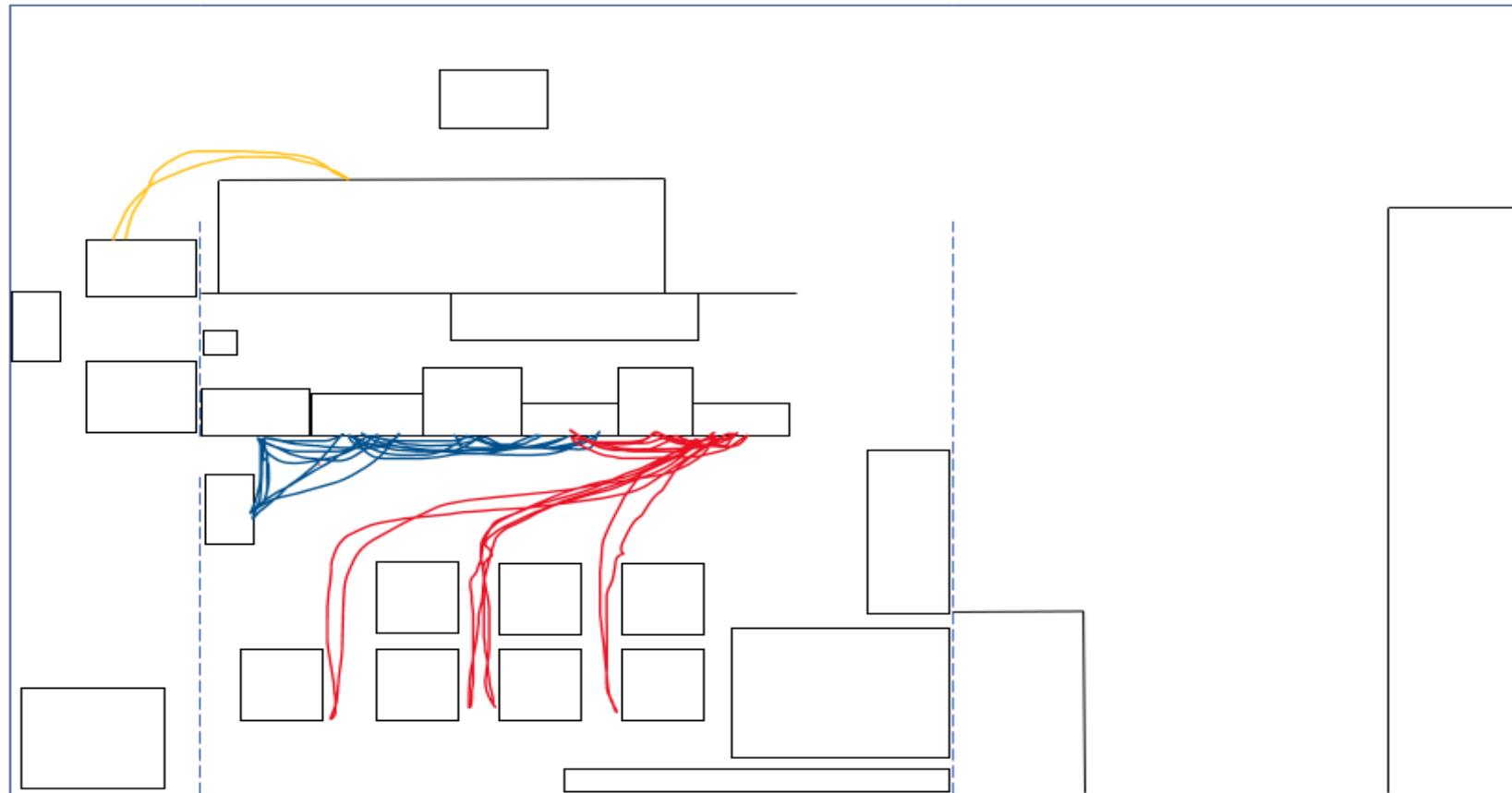


processar uma rodada padrão de sete pneus. Essa comparabilidade é fundamental para assegurar que os ganhos visuais representem uma redução real de esforço para os operadores.

A Figura 11, a seguir, detalha os fluxos operacionais propostos no layout. Ao confrontar este novo cenário com o diagnóstico inicial, torna-se evidente a simplificação radical dos trajetos e a linearidade do fluxo produtivo. A eliminação das barreiras físicas entre os barracões e a aproximação estratégica dos estoques permitiram que as linhas de movimentação, antes extensas e emaranhadas, se tornassem curtas e objetivas, validando visualmente a aplicação dos princípios Lean na eliminação dos desperdícios de transporte. No Quadro 6 são apresentas as métricas de comparação das distâncias percorridas nos dois cenários



Figura 11 - Proposta de layout otimizado (Estado Futuro).



Fonte: Autor (2025)



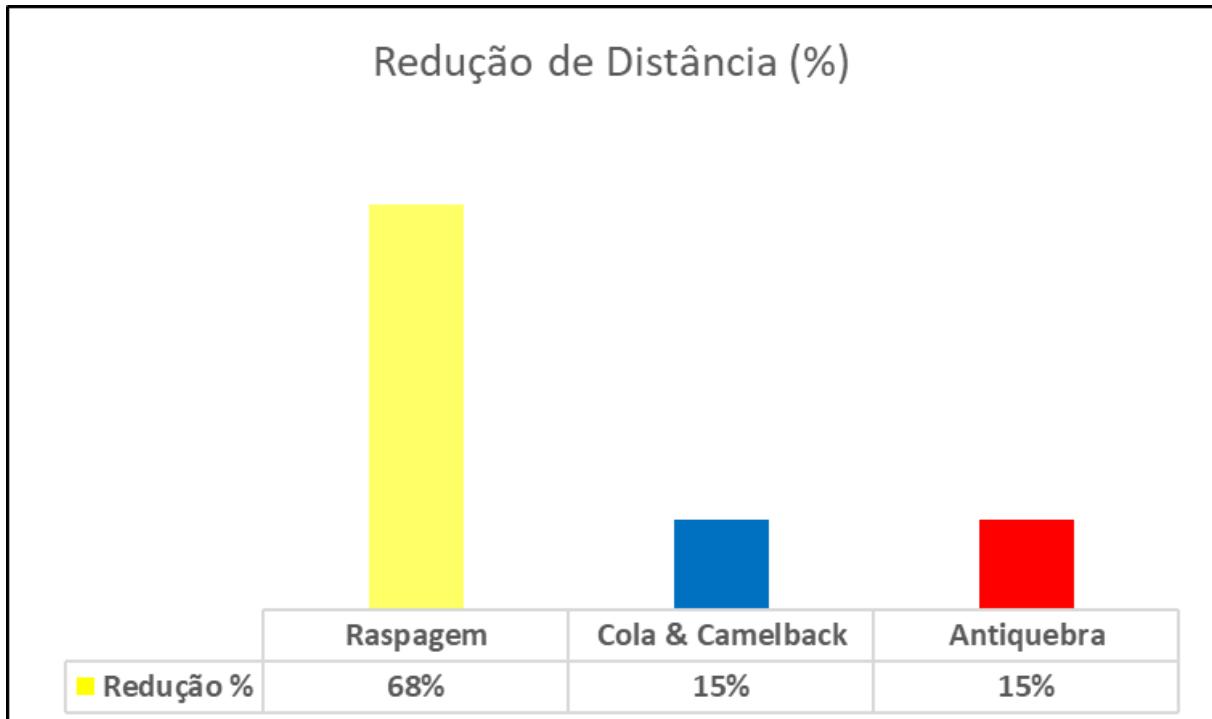
Quadro 6 - Quadro de comparação das distâncias (m).

Fluxo (cor da linha)	Atividade	Distância Layout Antigo (m)	Distância Layout Novo (m)	Redução (m)	Redução (%)
Amarelo	Raspagem	61,6	20	41,6	68%
Azul	Cola & Camelback	184,1	156,1	28	15%
Vermelho	Antiquebra	229,6	194,6	35	15%
Total		475,3	370,7	105,6	22%

Fonte: Autor (2025).

Na situação atual eram percorridos 475,3 metros ao realizar o processo de preparo de todas as atividades, na situação proposta projetou-se reduzir a movimentação para 370,7 metros, uma redução aproximadamente de 22% na distância percorrida. Com base nas informações contidas no Quadro 6, montou-se o Gráfico 1 para observar a redução de distância (%).

Gráfico 1 - Redução de distâncias (%) no novo layout comparado ao antigo.



Fonte: Autor (2025).



Para além da redução de distância (Quadro 6 e Gráfico 1), a intervenção no layout também gerou um impacto positivo no tempo total do processo. O Quadro 7 detalha a comparação dos Tempos de Ciclo (TC) de cada atividade, medidos em segundos, antes (Estado Presente - EP) e depois (Estado Futuro - EF) da implementação.

Quadro 7 - Comparativo dos Tempos de Ciclo (s).

Atividade	TC Presente (s)	TC Futuro (s)	Redução TC (s)	Produtividade (%)
Raspagem	143	115	28	19,58
Cola	173,72	164,63	9,09	5,23
Camelbak	179,5	167,07	12,42	6,92
Antiquebra	332,02	254,04	77,98	23,49
Total			127,495 s	13,81 %

Fonte: Autor (2025).

Esses dados apresentados demonstram, o impacto direto da otimização do layout: a redução de 22,01% na distância percorrida (Quadro 6) eliminou o desperdício de tempo. Este tempo economizado foi convertido em atividade de valor agregado, gerando um aumento real de 13,81% na produtividade geral da linha.



5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo aplicar os princípios da filosofia Lean Manufacturing em uma empresa de remoldagem de pneus, com foco na reestruturação do seu arranjo físico (layout) para reduzir desperdícios e aumentar a produtividade. Essa iniciativa justificou-se pela necessidade de adaptação da empresa ao cenário industrial competitivo, a qual a eficiência operacional e a eliminação de atividades que não agregam valor tornaram-se requisitos fundamentais para articular o crescimento do negócio no setor de economia circular.

Para o seu desenvolvimento, foi realizado um estudo de caso que partiu de um diagnóstico do estado atual, e com o uso da ferramenta de mapeamento do processo e, principalmente, do Diagrama de Espaguete, foi identificado e quantificado o principal desperdício da fábrica, isto é, a movimentação, e, o transporte excessivo, causados por um layout fisicamente fragmentado em três setores. A análise do estado atual quantificou que os operadores percorriam 475,3 metros para produzir uma rodada de sete pneus.

Com base neste diagnóstico, foi projetada e implementada uma proposta de layout futuro, focada na unificação do processo, de anteriormente dois barracões, em um único. A nova medição, realizada após a mudança, comprovou a eficácia da solução, reduzindo a distância percorrida para 370,7 metros. Desta forma, os resultados alcançados validaram a proposta, atingindo uma redução total de 22,01% na distância de movimentação e transporte.

Este ganho de eficiência no fluxo refletiu-se diretamente nos indicadores de produtividade da empresa, que registraram um aumento de 13,81% na produtividade (pneus/hora-homem). Conclui-se, portanto, que os objetivos deste trabalho foram plenamente atingidos. Para trabalhos futuros sugere-se a aplicação de outras ferramentas Lean para dar continuidade ao ciclo de melhoria contínua, como a implementação de um programa 5S para a padronização e organização dos novos postos de trabalho.



REFERÊNCIAS

ALBERTIN, Marcos Ronaldo; PONTES, Heráclito Lopes Jaguaribe. **Técnicas para identificação e redução de perdas.** In: ALBERTIN, Marcos Ronaldo; PONTES, Heráclito Lopes Jaguaribe. Gestão de processos e técnicas de produção enxuta. [livro eletrônico] Curitiba: InterSaberes, 2016. cap. 5, p. 107-113. PDF. ISBN 978-85-443-0355-9.

AZEVEDO, Calliana Samuelle Barroso. **Implantação da metodologia Lean manufacrturing no setor produtivo de uma empresa de fabricação de estruturas metálicas em João Monlevade.** Trabalho de conclusão de curso. Graduação, Engenharia de produção, Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, p. 1 2017.

BARREIRA, Maurício. **Aplicação das Ferramentas Enxutas: Lean Manufacturing.** Wise Consultoria e Treinamentos, 2011.c.

COUTINHO, Thiago. **Conheça os principais desperdícios do Lean Manufacturing: Aprenda quais são os 8 desperdícios do lean manufacturing.** Grupo Voitto, [s.l.] 2020.

DENNIS, Pascal. **Aplicação Lean Simplificada.** Porto Alegre: Bookman, 2008

FLEURY, M. Cultura da qualidade e mudança organizacional. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 26-34, mar./abr. 1993.

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** São Paulo. 5º Ed. Editora: Atlas. 2022.

HINES, Peter. **Guia para Implementação da Manufatura Enxuta - Lean Manufacturing.** São Paulo: IMAM, 2000.

HOWELL, V. W. Lean Manufacturing. **Ceramic Industry**, v. 160, p 16-19, 2010.

LIKER, Jeffrey K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIMA, Gustavo. **Diagrama de espaguete: o que é e para que serve.** Grupo Voitto. [s.l.] 2019.

MANFREDINI, Marcel Fermo; SUSKI, Cássio Aurélio. **Aplicação do Lean Manufacturing para Minimização de Desperdícios Gerados na Produção.** Artigo apresentado em Congresso, 2010, tema: 1ºº congresso de inovação, tecnologia e sustentabilidade.

MIGUEL, C. P.A. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção.** Rio de Janeiro. 1º Ed. Editora Elsevier 2010.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

Moreira, D. A. (2011). **Administração da Produção e Operações.** 2.ed. Atlas.

NETTO, R. **5 princípios do Lean Manufacturing para uma indústria (na prática).** 2020.



OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

SAIA, Rafael. **O Lean Manufacturing Aplicado em Ambientes de Produção Engineer to Order.** Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.

SALGADO, E., MELLO, C., SILVA, C., OLIVEIRA, E., ALMEIDA, D. **Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos.** Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 3, p. 344-356, Jul./Set., 2009.

SHINGO, Shigeo. **Sistema Toyota de produção: do ponto-de-vista de engenharia de produção.** Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, E. M. D. **Mentalidade Enxuta: Os 5 princípios do Lean Manufacturing para eliminar Desperdícios e aumentar a Produtividade.** 2018.

TOMPKINS E LAVASSEUR, **Sistemas de Produção: A Produtividade no Chão de Fábrica.** Porto Alegre: Bookman, 1996.