

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

JOÃO GABRIEL PENTEADO SALAZAR

OTIMIZAÇÃO DO FLUXO LOGÍSTICO INTERNO POR MEIO DOS PRINCÍPIOS LEAN:
UM ESTUDO SOBRE A REDUÇÃO DE *HANDLING STEPS* NO SETOR AEROESPACIAL

SÃO CARLOS

2025

JOÃO GABRIEL PENTEADO SALAZAR

OTIMIZAÇÃO DO FLUXO LOGÍSTICO INTERNO POR MEIO DOS PRINCÍPIOS LEAN:
UM ESTUDO SOBRE A REDUÇÃO DE *HANDLING STEPS* NO SETOR AEROESPACIAL

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto

São Carlos

2025

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Salazar, João Gabriel Penteado
S159o Otimização do fluxo logístico interno por meio dos princípios Lean: um estudo sobre a redução de handling steps no setor aeroespacial / João Gabriel Penteado Salazar; orientador Kleber Francisco Esposto. São Carlos, 2025.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2025.

1. Logística interna. 2. Handling steps. 3. Filosofia Lean. 4. Lead time. 5. Setor aeroespacial. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família, que sempre me apoiou em todas as etapas da minha vida e esteve sempre ao meu lado.

Ao meu pai, José Airton, que me ensinou desde cedo a buscar meus sonhos e acreditar nas minhas competências, sem nunca esquecer meu lado humano e empático.

À minha mãe, Adriana, que sempre cuidou de mim com todo o carinho do mundo e me mostrou que o amor vence qualquer barreira.

À minha irmã, Amanda, minha melhor amiga e confidente, que sempre me motivou nos momentos difíceis e comemorou comigo as conquistas da vida.

Aos meus avós, Ivone e Desidério, meus maiores exemplos de como a vida pode ser pura, alegre e bela em todos os momentos.

Aos meus avós, Dona Ana e Seu Chico, que de longe velam por mim e iluminam meu caminho aonde quer que eu vá.

Além da minha família, gostaria de agradecer à minha companheira de vida, Catarina, que me trouxe a esperança de um futuro melhor e a força para buscá-lo juntos, a todos os meus amigos que conviveram comigo e me apoiaram durante a graduação e à República Fogo de Paia, minha segunda família e meu lar durante toda a minha estadia.

Todos fizeram parte da minha vida e ficarão para sempre guardados em meu coração como pessoas que me moldaram e me transformaram na pessoa que sou.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: João Gabriel Penteado Salazar
Título do TCC: Otimização do fluxo logístico interno por meio dos princípios <i>Lean</i> : um estudo sobre a redução de <i>handling steps</i> no setor aeroespacial
Data de defesa: 11/12/2025

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Associado Kleber Francisco Espôsto (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor Marcel Andreotti Musetti	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor Walther Azzolini Júnior	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	

Presidente da Banca: **Professor Associado Kleber Francisco Espôsto**

Resumo

A logística interna desempenha um papel estratégico na eficiência operacional do setor aeroespacial, caracterizado por rigorosos requisitos de qualidade e prazos. Este trabalho tem como objetivo analisar e propor melhorias no fluxo logístico interno de uma empresa do setor, visando a redução do número de *handling steps* (toques na peça) e a melhoria do *lead time* por meio dos princípios da filosofia *Lean Logistics*. A metodologia adotada foi um estudo de caso único, de natureza aplicada, combinando observação direta, mapeamento de processos e cronoanálise para mensurar tempos de execução e identificar desperdícios em peças de pequeno volume. O diagnóstico do estado atual revelou que o macroprocesso de conferência e inspeção de qualidade representava o principal gargalo, consumindo cerca de 60% do tempo da etapa em movimentações entre prédios distintos (A e B). Como proposta de melhoria, foi sugerida a readequação do *layout* físico com a centralização das atividades de armazenagem, conferência e *picking* em um único ambiente. As estimativas projetadas para o estado futuro indicaram uma redução de aproximadamente 69% no tempo total do macroprocesso de conferência, decorrente da eliminação de transportes desnecessários e da extinção de *handling steps* redundantes. Conclui-se que a aplicação das ferramentas *Lean* e a reorganização do arranjo físico permitem criar um fluxo contínuo e puxado, aumentando a estabilidade e a eficiência do processo logístico.

Palavras-chave: Logística interna. *Handling steps*. Filosofia Lean. *Lead time*. Setor aeroespacial

Abstract

Internal logistics plays a strategic role in the operational efficiency of the aerospace sector, which is characterized by strict quality requirements and deadlines. This study aims to analyze and propose improvements to the internal logistics flow of a company in this sector, focusing on reducing the number of handling steps and optimizing lead time through Lean Logistics principles. The methodology adopted was a single applied case study, combining direct observation, process mapping, and chrono-analysis to measure execution times and identify waste in small-volume parts. The diagnosis of the current state revealed that the conference and quality inspection macro-process was the main bottleneck, with approximately 60% of the stage time consumed by movements between different buildings (A and B). As an improvement proposal, a physical layout re-adequation was suggested, centralizing storage, conference, and picking activities in a single environment. The projected estimates for the future state indicated a reduction of approximately 69% in the total time of the conference macro-process, resulting from the elimination of unnecessary transport and redundant handling steps. It is concluded that the application of Lean tools and the reorganization of the physical arrangement allow for the creation of a continuous and pull flow, increasing the stability and efficiency of the logistics process.

Keywords: Internal logistics. Handling steps. Lean philosophy. Lead time. Aerospace sector.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do Sistema Toyota de Produção (STP).....	26
Figura 2 - Os 5 princípios do pensamento enxuto.....	27
Figura 3 - Fluxo de materiais e informações na cadeia de suprimentos.....	28
Figura 4 - Objetivos de desempenho das operações.....	30
Figura 5 - Ciclo de gestão por processos (BPM).....	33
Figura 6 - Modelo híbrido BPM–Lean Warehousing.....	34
Figura 7 - Etapas metodológicas do estudo.....	38
Figura 8 - Fluxo logístico entre os prédios A e B.....	43
Figura 9 - Gráfico do tempo médio dos macroprocessos.....	47
Figura 10 - Estado futuro proposto do fluxo logístico após readequação de layout.....	54
Figura A.1 - Fluxograma dos processos simplificado.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos médios ajustados por macroprocessos.....	46
Tabela 2 - Tempos médios de espera entre macroprocessos.....	47
Tabela 3 - Tempos médios das micro atividades do processo de conferência.....	48
Tabela 4 - Estimativa dos tempos totais por macroporcesso após adequação do layout.....	55
Tabela 5 - Novos tempos das micro atividades da conferência após adequação do layout.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPM – *Business Process Management* (Gestão de Processos de Negócio)

BPMN – *Business Process Model and Notation* (Modelo e Notação de Processos de Negócio)

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)

LCAM – *Lean Culture Assessment Model* (Modelo de Avaliação da Cultura Lean)

QVSM – *Quality Value Stream Mapping* (Mapeamento do Fluxo de Valor da Qualidade)

STP – Sistema Toyota de Produção

VSM – *Value Stream Mapping* (Mapeamento do Fluxo de Valor)

SUMÁRIO

1. Introdução	22
1.1 Contextualização e Problema de Pesquisa.....	22
1.2 Objetivos.....	23
1.3 Delimitação e escopo.....	24
1.4 Estrutura do trabalho	25
2. Fundamentação Teórica.....	26
2.1 Filosofia Lean e o Sistema Toyota de Produção	26
2.2 <i>Lean Logistics</i> e Logística Interna.....	27
2.3 <i>Lead Time</i> e Desempenho Operacional	29
2.4 Layout e Eficiência Logística	30
2.5 Aplicação do Lean no Setor Aeroespacial.....	31
2.6 Cultura e Liderança Lean	31
2.7 Ferramentas de Mapeamento e Análise de Fluxo.....	32
2.8 Integração entre BPMN e Lean Warehousing.....	32
3. Metodologia.....	35
3.1 Tipo e abordagem da pesquisa.....	35
3.2 Método de pesquisa	35
3.3 Etapas de desenvolvimento do estudo	35
3.4 Indicadores e métricas de avaliação	39
3.5 Técnicas e instrumentos de coleta de dados	40
3.6 Limitações da pesquisa.....	40
3.7 Considerações éticas.....	40
4. Estudo de Caso e Resultados	41
4.1 Caracterização do processo estudado	41
4.2 Análise do estado atual	42
4.2.1 Descrição do fluxo logístico atual	42
4.2.2 Cronoanálise	44
4.3 Análise dos desperdícios e gargalos logísticos.....	49

4.4 Propostas de melhoria.....	51
4.4.1 Readequação de layout	52
4.4.2 Desafios e Considerações para a Implementação do Novo Layout.....	57
5. Conclusões e Recomendações	58
5.1 Síntese das Conclusões.....	58
5.2 Contribuições Práticas e Acadêmicas	59
5.3 Limitações do Estudo	59
5.4 Sugestões para Continuidade.....	59
5.5 Dificuldades Encontradas e Aprendizados Adquiridos	60
Referências	62
Apêndices	64
Apêndice A	64

1. Introdução

1.1 Contextualização e Problema de Pesquisa

A logística interna desempenha um papel central na eficiência operacional de empresas do setor aeroespacial, um ambiente caracterizado por requisitos elevados de precisão, confiabilidade e integração entre processos. Nesse contexto, a gestão adequada da movimentação de materiais influencia diretamente o *lead time*, a capacidade de atendimento e a previsibilidade do fluxo produtivo, conforme destacam Slack, Chambers e Johnston (2018). A literatura clássica do *Sistema Toyota de Produção* (STP) enfatiza que processos eficientes dependem da identificação e eliminação sistemática de atividades que não agregam valor, especialmente aquelas relacionadas à movimentação, espera e retrabalho (OHNO, 1997; WOMACK; JONES, 2004).

No setor aeroespacial, essa necessidade torna-se ainda mais crítica. Estudos demonstram que a adoção de práticas *Lean* em ambientes aeronáuticos pode contribuir para a redução do *lead time*, melhoria da confiabilidade e aumento da eficiência operacional (CRUTE et al., 2003; GONZÁLEZ et al., 2015). Contudo, processos logísticos internos em empresas desse segmento ainda são frequentemente estruturados de forma fragmentada, com percursos extensos, elevado número de *handling steps* e dependência de movimentações manuais entre áreas físicas distintas, fatores que ampliam a variabilidade e dificultam a estabilidade do fluxo.

Nesse cenário, a análise dos *handling steps* ganha relevância, uma vez que essas movimentações representam uma das principais fontes de desperdício de transporte, um dos sete tipos de *muda* descritos por Ohno (1997). A literatura *Lean* reforça que a redução de movimentações desnecessárias e a construção de fluxos contínuos são fundamentais para alcançar processos mais estáveis e previsíveis, especialmente em operações nas quais pequenas variações acumuladas impactam significativamente o desempenho global.

Além disso, estudos recentes têm indicado que a integração entre princípios *Lean* e métodos estruturados de modelagem de processos, como o *BPMN* e o *Value Stream Mapping* (*VSM*), pode gerar melhorias substanciais em fluxos logísticos internos, reduzindo atividades que não agregam valor e aumentando a eficiência operacional (AMBROSIO-FLORES et al., 2022; VILLAZÓN et al., 2022). Esse conjunto de evidências destaca a necessidade de investigar de forma aprofundada como essas abordagens podem ser aplicadas ao contexto aeroespacial, no qual

a movimentação interna possui relevância estratégica para a competitividade e para o desempenho produtivo.

Dessa forma, este trabalho se insere na interseção entre práticas *Lean* e gestão de fluxos logísticos internos, buscando compreender como conceitos amplamente discutidos na literatura podem ser aplicados ao estudo de *handling steps* e ao redesenho de fluxos de movimentação em um ambiente real. Essa análise fornece a base conceitual e contextual necessária para a formulação dos objetivos do estudo, apresentados na próxima seção.

1.2 Objetivos

A formulação dos objetivos deste estudo fundamenta-se nos princípios da filosofia *Lean*, cuja proposta central consiste na eliminação sistemática de desperdícios e na criação de fluxos operacionais mais estáveis e eficientes (OHNO, 1997; WOMACK; JONES, 2004). Em operações logísticas internas, esses princípios são especialmente relevantes, pois deslocamentos excessivos, movimentações desnecessárias e variações entre etapas estão entre as principais causas de aumento do *lead time* e de perda de desempenho (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2018). Além disso, estudos de tempos e métodos, tradicionalmente utilizados para avaliar a eficiência e padronizar processos, fornecem base técnica para mensurar atividades, identificar gargalos e orientar melhorias de forma objetiva (BARNES, 2001).

A relevância desses aspectos é ainda maior no setor aeroespacial, onde pesquisas têm demonstrado que a aplicação de práticas *Lean* pode reduzir significativamente o *lead time* e melhorar a organização dos fluxos internos (CRUTE et al., 2003). Assim, os objetivos deste trabalho foram estruturados de modo a alinhar a análise prática do processo logístico com os fundamentos teóricos que orientam a eliminação de desperdícios e a melhoria do fluxo.

Nesse contexto, o objetivo geral consiste em propor melhorias no processo logístico interno da empresa estudada, buscando reduzir o número de *handling steps* e diminuir o *lead time* por meio da aplicação dos princípios *Lean* e da análise sistemática dos tempos de processamento.

Para orientar a condução da pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o fluxo logístico atual, identificando todos os *handling steps* envolvidos na movimentação de peças pequenas;

- Mensurar os tempos médios das etapas do fluxo por meio de cronoanálise;
- Identificar gargalos logísticos relacionados às movimentações, esperas e desbalanceamentos entre etapas;
- Avaliar a aplicabilidade de princípios *Lean*, especialmente aqueles relacionados à eliminação de desperdícios de transporte e à estabilização do fluxo na melhoria das atividades logísticas;
- Propor melhorias estruturais e operacionais, incluindo adequações no layout físico e na distribuição das atividades;
- Estimar os impactos das melhorias propostas no *lead time* total e na quantidade de *handling steps*.

1.3 Delimitação e escopo

Este estudo está delimitado ao processo de movimentação de peças pequenas dentro da logística interna da empresa. A análise concentra-se exclusivamente nas etapas que envolvem manipulação física dos materiais, definidas neste trabalho como *handling steps*. Esse termo refere-se a cada ação em que o item é efetivamente tocado, deslocado ou reposicionado por um operador ou equipamento logístico, incluindo atividades como transporte interno, deposição, coleta e movimentações intermediárias. Por outro lado, etapas puramente administrativas ou sistêmicas, embora relevantes para o fluxo completo, não são consideradas *handling steps*, pois não envolvem movimentação física do material. Embora etapas administrativas e sistêmicas influenciem o *lead time* total, a decisão metodológica de focar exclusivamente nos *handling steps* justifica-se pelo fato de a movimentação física representar, no ambiente de chão de fábrica, a fonte mais tangível de desperdício de transporte e variabilidade. A melhoria física é considerada, neste estudo, o pré-requisito estrutural para posteriores melhorias nos fluxos informacionais.

Assim, o escopo da pesquisa está focado na identificação, quantificação e análise dos processos logísticos físicos, com ênfase na avaliação dos tempos médios de execução e nos desperdícios associados às movimentações internas. As melhorias propostas possuem caráter projetado e não foram implementadas durante o período do estudo, motivo pelo qual os

resultados apresentados são estimativas baseadas nas projeções de tempo e eficiência operacional derivadas da análise conduzida.

1.4 Estrutura do trabalho

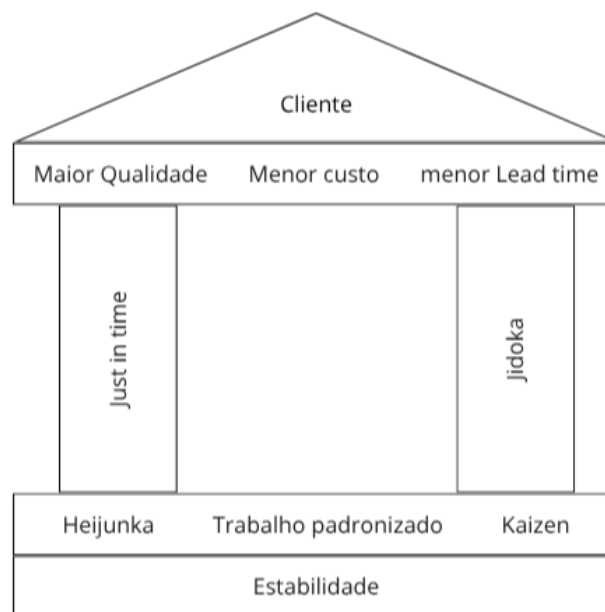
Este trabalho está estruturado de forma a proporcionar uma visão clara e contínua do processo de análise e melhoria logística. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que sustenta os conceitos de *Lean* e *Lean Logistics* aplicados ao estudo de caso. No Capítulo 3, será detalhada a metodologia adotada para o estudo de caso, descrevendo as etapas de análise e os métodos de coleta de dados. O Capítulo 4 apresentará a análise dos resultados obtidos a partir das propostas de melhoria, e, finalmente, o Capítulo 5 conterá as conclusões, destacando as contribuições do estudo e sugerindo direções futuras para a continuidade das melhorias no processo logístico.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Filosofia Lean e o Sistema Toyota de Produção

O pensamento enxuto (Lean Thinking) teve origem no Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido por Taiichi Ohno no Japão entre as décadas de 1950 e 1970. O STP surgiu como uma alternativa ao modelo de produção em massa, priorizando a eficiência por meio da eliminação sistemática de desperdícios e do aprimoramento contínuo dos processos (OHNO, 1997). A estrutura conceitual do Sistema Toyota de Produção pode ser visualizada na Figura 1, que representa seus pilares e fundamentos principais.

Figura 1 – Estrutura do Sistema Toyota de Produção (STP)

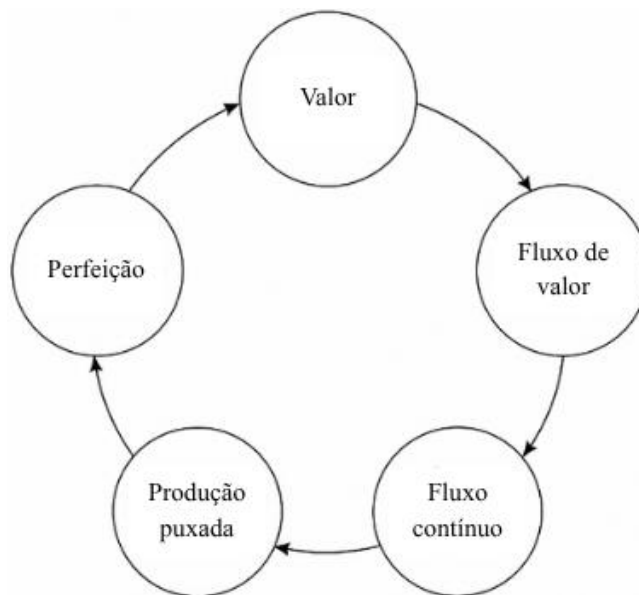


Fonte: Adaptado de Ohno (1997) e Toyota Motor Corporation (apud Liker, 2005)

De acordo com Ohno (1997), os sete desperdícios clássicos: superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, estoque, movimento e defeitos representam perdas que consomem recursos sem agregar valor ao cliente. A eliminação dessas fontes de ineficiência é guiada por dois pilares: o Just in Time, que busca o fluxo contínuo e puxado de materiais, e o Jidoka, que garante qualidade na fonte por meio da autonomia do operador.

Womack e Jones (2004) expandiram a filosofia Lean para além do ambiente manufatureiro, sintetizando-a em cinco princípios fundamentais: (i) identificar o valor sob a ótica do cliente; (ii) mapear o fluxo de valor; (iii) criar fluxo contínuo; (iv) estabelecer um sistema de produção puxado; e (v) buscar a perfeição. Esses princípios compõem um ciclo iterativo de melhoria contínua, no qual o valor é criado e aperfeiçoado de forma sistemática. A Figura 2 ilustra graficamente esse ciclo, evidenciando a natureza contínua do pensamento enxuto e sua aplicação ao longo de todo o fluxo de valor.

Figura 2 – Os 5 princípios do pensamento enxuto



Fonte: Adaptado de Womack e Jones (2004)

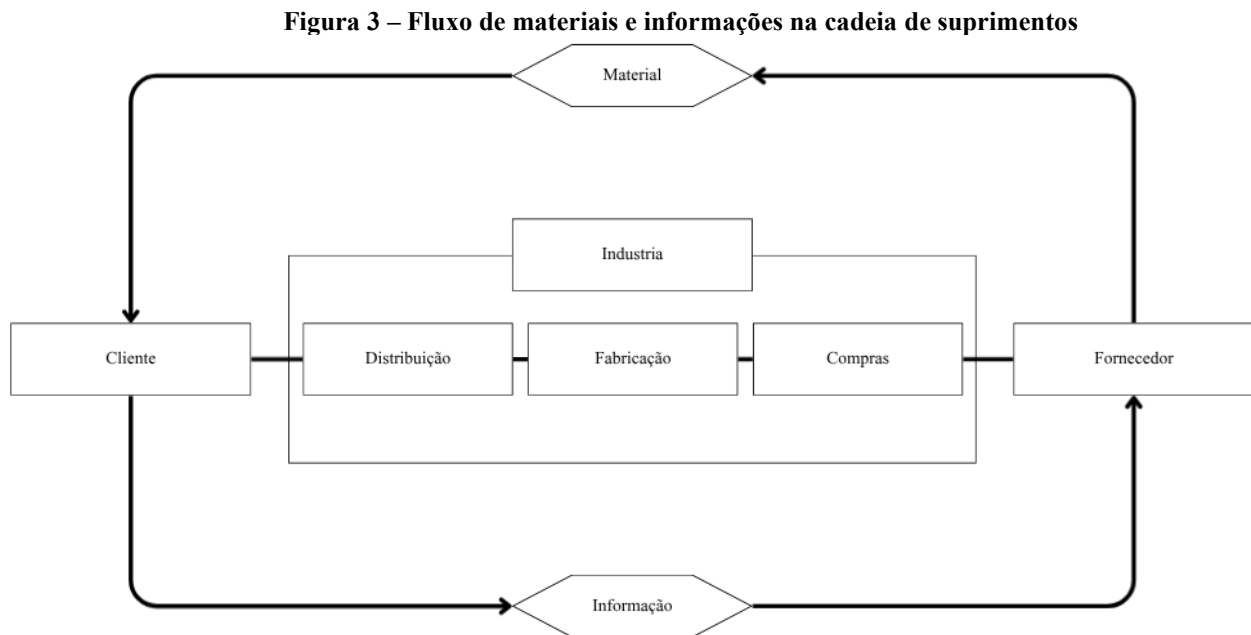
Spear e Bowen (1999) complementam que o sucesso do STP está na combinação entre disciplinas operacionais e aprendizagem científica. Cada processo é projetado como um experimento controlado, e cada colaborador é um agente ativo de melhoria. Liker (2005) reforça essa visão ao apresentar os 14 princípios do Modelo Toyota, que unem filosofia de longo prazo, processo contínuo de resolução de problemas e desenvolvimento das pessoas como base para a excelência operacional.

2.2 Lean Logistics e Logística Interna

A aplicação dos princípios Lean à área logística resultou na abordagem conhecida como *Lean Logistics*, que busca otimizar o fluxo de materiais e informações ao longo da cadeia de

suprimentos, eliminando transportes, esperas e estoques desnecessários (HARRISON; VAN HOEK, 2002). Segundo Hines e Rich (1997), o mapeamento do fluxo de valor (Value Stream Mapping – VSM) é a principal ferramenta para identificar gargalos e desperdícios em processos logísticos e administrativos.

Ballou (2006) define logística como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente de materiais, informações e serviços do ponto de origem ao ponto de consumo. Essa definição está alinhada aos princípios Lean, pois enfatiza a sincronização entre oferta e demanda e a redução de atividades sem valor agregado. A Figura 3 ilustra o fluxo integrado de materiais e informações na cadeia de suprimentos, destacando a relação entre fornecedores, processos internos e clientes.



Fonte: Adaptado de Ballou (2006)

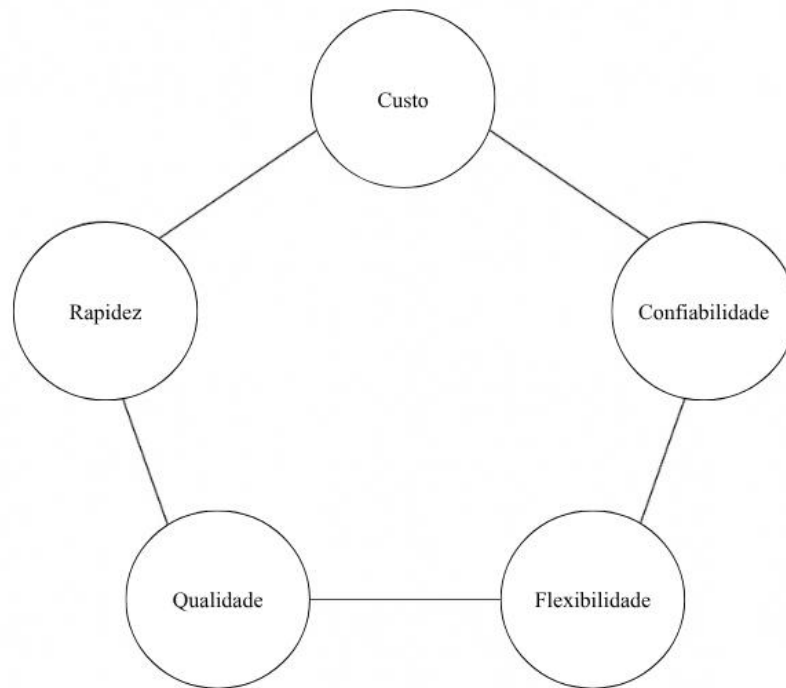
Bowersox, Closs e Cooper (2007) reforçam que a logística moderna deve ser vista como um sistema integrado de fluxos físicos e informacionais, no qual o gerenciamento eficaz da movimentação interna é determinante para a competitividade. No mesmo sentido, a Revista de Logística e Operações (2018) destaca que a logística interna tem papel estratégico na manufatura, sendo responsável por garantir a entrega do material certo, no momento certo e na quantidade certa.

Dessa forma, a convergência entre Lean e logística permite à organização reduzir o tempo de atravessamento (*lead time*), aumentar a previsibilidade dos fluxos e assegurar maior confiabilidade na reposição interna, princípios fundamentais para o contexto aeroespacial.

2.3 Lead Time e Desempenho Operacional

O *lead time*, tempo total transcorrido entre o início e a conclusão de um processo, é um indicador essencial para o desempenho operacional. Tersine e Hummingbird (1995) afirmam que a redução do *lead time* contribui diretamente para a melhoria da qualidade, da flexibilidade e da competitividade, pois minimiza a exposição a variações de demanda e reduz o capital imobilizado em estoques.

Slack, Chambers e Johnston (2018) classificam o tempo de resposta como um dos cinco objetivos de desempenho das operações, juntamente com custo, qualidade, confiabilidade e flexibilidade. Segundo os autores, operações rápidas são aquelas que transformam insumos em produtos no menor tempo possível, reduzindo filas, esperas e deslocamentos internos. A velocidade de fluxo também atua como impulsionador da confiabilidade, uma vez que processos curtos tendem a ser mais previsíveis e menos sujeitos a erros. A Figura 4 sintetiza os principais objetivos de desempenho operacional propostos por Slack, Chambers e Johnston (2018), os quais servem de base para a definição das métricas deste estudo.

Figura 4 – Objetivos de desempenho das operações

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2018)

Villazón et al. (2020) demonstram que, em ambientes produtivos complexos, a medição de desempenho Lean deve incorporar indicadores quantitativos, como tempo de ciclo, produtividade e taxa de retrabalho, alinhados ao ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar). Assim, o *lead time* se torna não apenas uma medida de tempo, mas um indicador integrado de eficiência global.

2.4 Layout e Eficiência Logística

O layout de instalações é determinante para a eficiência logística e o desempenho produtivo. Ashayeri e Gelders (1985) defendem que o projeto de armazéns deve equilibrar o custo de movimentação com a utilização do espaço físico, minimizando cruzamentos de fluxo e deslocamentos redundantes. Slack (2018) complementa que o arranjo físico deve refletir o tipo de processo, por produto, funcional, posicional ou celular, e alinhar-se à estratégia operacional da organização.

Tulli (2023) mostra que a aplicação de técnicas modernas de melhoria, como slotting optimization e zone-based picking, pode reduzir até 40% o tempo de deslocamento e aumentar a

produtividade em operações logísticas. Essas melhorias impactam diretamente o *lead time* e a eficiência global do processo.

Bowersox, Closs e Cooper (2007) destacam ainda que o layout influencia a integração entre atividades de armazenagem e movimentação, e que a gestão da infraestrutura logística deve ser planejada para reduzir o tempo de manipulação de materiais. Assim, o arranjo físico é um componente essencial para a implementação de fluxos contínuos e enxutos.

2.5 Aplicação do Lean no Setor Aeroespacial

O setor aeroespacial é caracterizado por altos requisitos de qualidade, baixa tolerância a erros e processos altamente customizados, o que torna a aplicação dos princípios Lean particularmente desafiadora. Crute et al. (2003) analisaram dois casos de implementação do Lean em empresas aeronáuticas e constataram reduções de 40% no *lead time* e melhorias expressivas na produtividade e na comunicação entre áreas.

González et al. (2015), ao estudar a aplicação do Lean na Airbus Espanha, observaram reduções de 50% no tempo total de montagem e aumento significativo na confiabilidade operacional. Esses resultados reforçam que o Lean é aplicável a ambientes de alta complexidade, desde que haja comprometimento da liderança e alinhamento estratégico entre as equipes.

Womack e Jones (2004) destacam que a transposição do Lean para setores de alta tecnologia requer uma adaptação dos princípios de fluxo contínuo para processos sob encomenda e de alta variabilidade, como ocorre na indústria aeronáutica. Dessa forma, a filosofia enxuta contribui para elevar o desempenho operacional e a competitividade no setor.

2.6 Cultura e Liderança Lean

A implantação bem-sucedida do Lean depende fortemente da cultura organizacional e do estilo de liderança. Liker (2005) destaca que o Modelo Toyota baseia-se em 14 princípios interligados, sendo a liderança e o desenvolvimento das pessoas elementos centrais. O autor afirma que “sem uma cultura de aprendizado e respeito às pessoas, as ferramentas Lean perdem sua efetividade”.

Al-Najem, Dhakal e Bennett (2012) reforçam que a transformação Lean requer o envolvimento de todos os níveis hierárquicos e propõem o Lean Culture Assessment Model (LCAM), composto pelas dimensões de missão, adaptabilidade, envolvimento e consistência. De

forma semelhante, a Revista de Engenharia de Produção e Gestão (2019) ressalta que a consolidação de uma cultura Lean demanda tempo, comunicação clara e valorização das contribuições dos colaboradores.

No contexto de empresas aeroespaciais, a cultura Lean favorece a colaboração interdisciplinar e o empoderamento dos operadores, elementos essenciais para a manutenção da qualidade e da confiabilidade nos fluxos logísticos.

2.7 Ferramentas de Mapeamento e Análise de Fluxo

O Value Stream Mapping (VSM) é uma das ferramentas centrais do Lean, pois permite visualizar o fluxo completo de materiais e informações, identificando atividades que agregam ou não valor (HINES; RICH, 1997). O VSM possibilita mensurar tempos de ciclo, distâncias percorridas e estoques intermediários, fornecendo subsídios para a construção de um estado futuro mais eficiente.

Rahani e Muhammad Al-Ashraf (2012) demonstraram a aplicação prática do VSM em uma planta industrial, obtendo redução de 15% no tempo de ciclo após a identificação e eliminação de desperdícios. Haefner et al. (2014) propuseram o Quality Value Stream Mapping (QVSM), que adiciona indicadores de qualidade e custo à análise do fluxo de valor.

2.8 Integração entre BPMN e Lean Warehousing

A crescente complexidade dos processos industriais exige modelos que integrem a análise de valor do Lean à modelagem formal de processos. O Business Process Model and Notation (BPMN) fornece uma notação padronizada que descreve atividades, decisões e interações, facilitando a comunicação entre setores (VALLE; OLIVEIRA, 2011). O ciclo de gestão por processos, conforme representado na Figura 5, demonstra a natureza contínua das etapas de modelagem, execução, monitoramento e melhoria do BPM.

Figura 5 – Ciclo de gestão por processos (BPM)



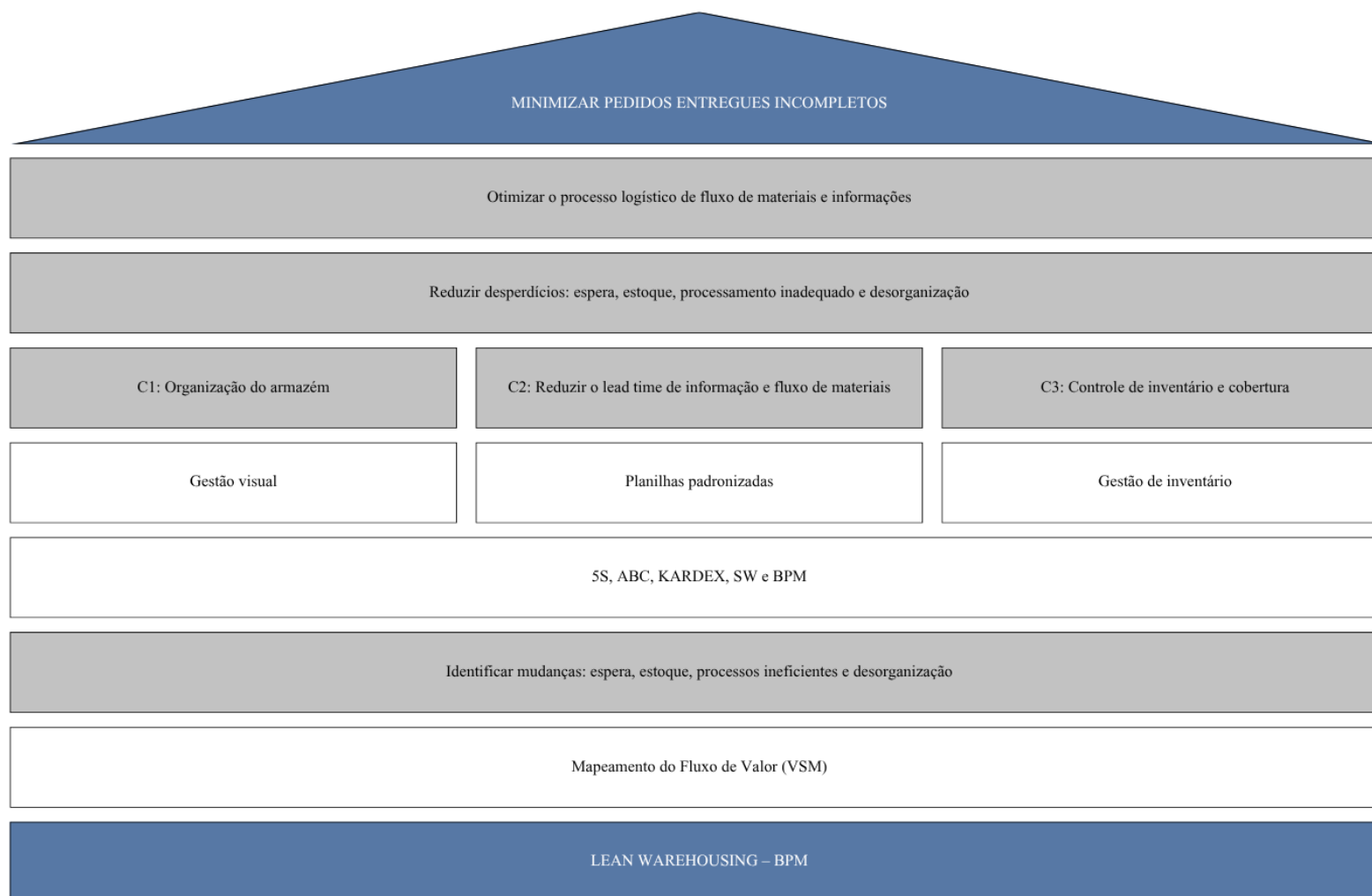
Fonte: Adaptado de Dheka (2024). Disponível em: <https://dheka.com.br/solucoes/gestao-de-processos-bpm>.

Acesso em: 5 nov. 2025

Ambrosio-Flores et al. (2022) desenvolveram o modelo híbrido BPM–Lean Warehousing, que combina o VSM para diagnóstico de desperdícios e o BPMN para padronização e controle do fluxo informacional. A aplicação do modelo em uma empresa de distribuição resultou em aumento de 12% na taxa de ordens completas entregues e redução de 8% no tempo total de processamento. O modelo híbrido BPM–Lean Warehousing, ilustrado na Figura 6, apresenta a integração entre a filosofia enxuta e a modelagem de processos de negócio, permitindo maior controle e padronização dos fluxos logísticos.

Gonçalves (2000) complementa que as organizações devem ser vistas como coleções de processos interligados, e que o sucesso de iniciativas de melhoria depende da compreensão das interfaces entre atividades. No contexto deste trabalho, a integração BPMN–VSM é aplicada para mapear e otimizar o fluxo logístico de movimentação de materiais, reduzindo o número de *handling steps* e o *lead time*. Essa combinação representa um avanço metodológico, pois une a análise de valor do Lean à clareza gráfica do BPMN, proporcionando uma representação fiel e comunicável do processo logístico.

Figura 6 – Modelo híbrido BPM–Lean Warehousing



Fonte - Adaptado de Ambrosio-Flores et al (2022)

3. Metodologia

3.1 Tipo e abordagem da pesquisa

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, uma vez que busca propor melhorias práticas em um processo logístico real, fundamentadas em conceitos teóricos da filosofia Lean. Segundo Miguel (2010), a pesquisa aplicada tem por objetivo gerar conhecimento voltado à solução de problemas específicos, diferindo das pesquisas puramente teóricas.

Quanto à abordagem, trata-se de um estudo de natureza qualitativa e quantitativa. A dimensão qualitativa foi essencial para compreender a percepção dos operadores, as condições de trabalho e as dificuldades encontradas em cada etapa. Já a dimensão quantitativa permitiu mensurar tempos, frequências e volumes de movimentações, possibilitando a análise objetiva do desempenho operacional. Essa combinação metodológica é recomendada por Slack, Chambers e Johnston (2018), que destacam que estudos em engenharia de produção devem integrar mensuração de desempenho e compreensão comportamental para resultados consistentes.

3.2 Método de pesquisa

A presente pesquisa adota como estratégia o estudo de caso único, de natureza aplicada e caráter exploratório/descritivo. Segundo Yin (2015), o estudo de caso é a abordagem preferida quando se deseja investigar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente evidentes.

A escolha por um caso único justifica-se pela oportunidade de acesso em profundidade aos dados e à realidade operacional da empresa, viabilizada pela atuação do pesquisador como estagiário na organização durante o período do estudo. Essa condição permitiu a observação participante e a coleta de dados primários (como tempos de processo, fluxos reais e dificuldades operacionais) que seriam dificilmente acessíveis a um observador externo, configurando o que Yin (2015) classifica como uma situação de 'caso revelador' ou de acesso privilegiado a um fenômeno científico.

Conforme destaca Miguel (2010), na Engenharia de Produção, o estudo de caso é fundamental para compreender a complexidade dos sistemas produtivos e validar a aplicação teórica (neste caso, o *Lean*) em ambientes práticos, permitindo uma análise detalhada das variáveis que influenciam o desempenho do processo.

3.3 Etapas de desenvolvimento do estudo

O desenvolvimento da pesquisa foi estruturado em cinco etapas sequenciais, conforme ilustrado na Figura 7.

- **Acompanhamento e compreensão do processo atual**

A primeira etapa consistiu em acompanhar presencialmente as atividades logísticas, observando o fluxo físico dos materiais desde o recebimento até a entrega na linha de montagem. Essa observação direta permitiu identificar as áreas envolvidas, suas responsabilidades e a existência de grupos de atividades com características semelhantes.

- **Mapeamento e detalhamento dos processos**

Após a compreensão inicial, foi realizado o mapeamento detalhado das atividades, com apoio dos operadores e analistas da área. O objetivo dessa etapa foi entender as condições de trabalho, restrições operacionais, variações frequentes e particularidades de cada etapa do fluxo. A partir dessas observações, foi elaborado um fluxograma representando o processo logístico completo, descrevendo as principais etapas de movimentação e suas ramificações. Essa representação gráfica teve caráter exclusivamente descritivo, sem aplicação de métodos formais de modelagem.

- **Cronoanálise e coleta de dados quantitativos**

Com o processo mapeado, iniciaram-se as medições diretas dos tempos de execução. Cada operação foi medida aproximadamente cinco vezes, com diferentes itens, para calcular uma média representativa. Essa prática segue recomendações clássicas de estudos de tempos e movimentos (Barnes, 2001), reduzindo distorções amostrais e aumentando a precisão dos resultados.

Cada processo registrado correspondeu a um toque efetivo no material, ou seja, uma movimentação física, base para a contagem dos *handling steps*. Etapas administrativas e sistêmicas não foram incluídas nessa medição por não envolverem movimentação física, embora se reconheça que elas consomem tempo e podem influenciar o *lead time* total. Essa delimitação teve como objetivo focar o estudo na movimentação interna de materiais.

- **Identificação de gargalos e desperdícios (diagnóstico Lean)**

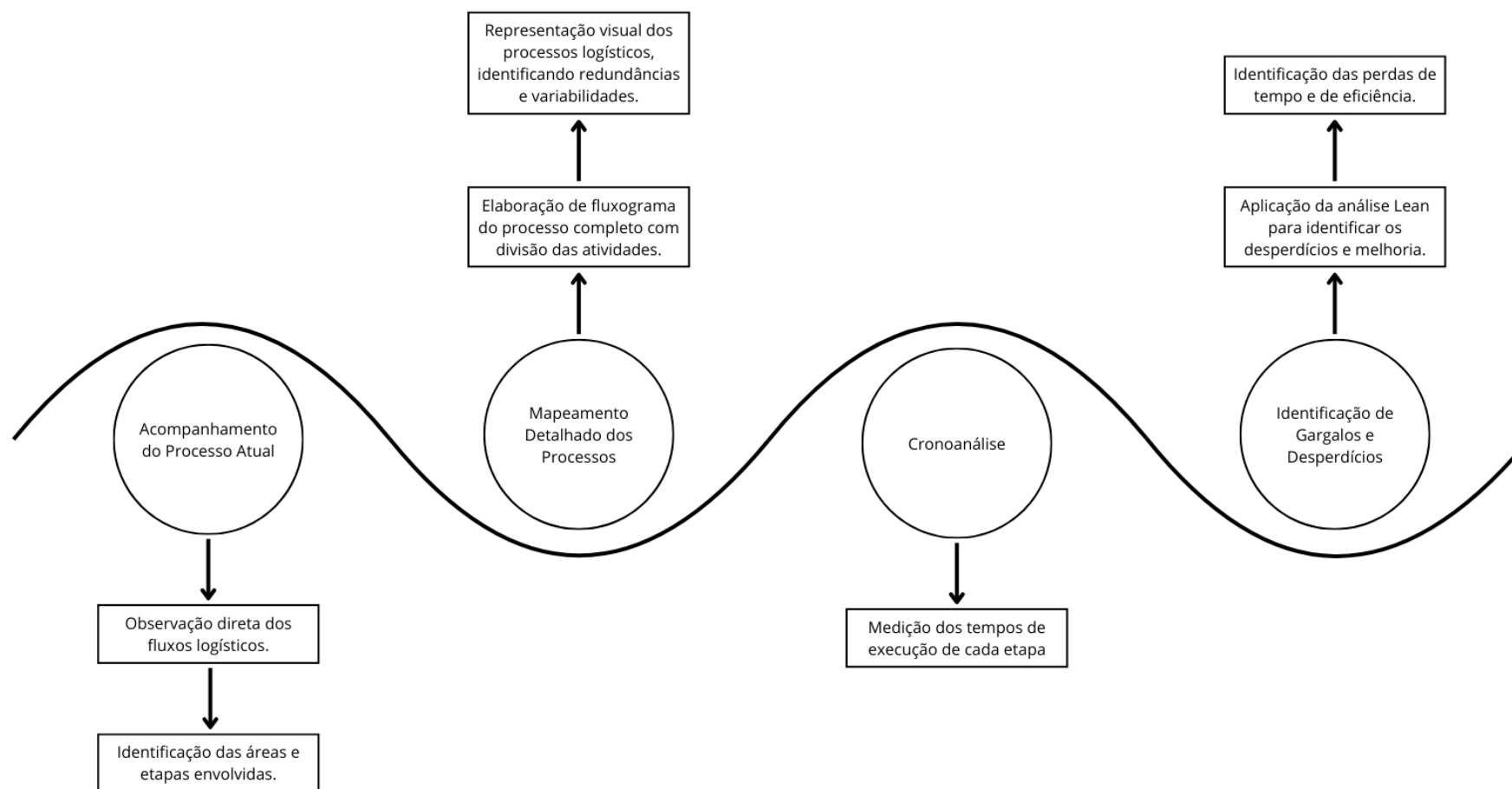
Os tempos coletados foram analisados à luz dos sete desperdícios descritos por Ohno (1997), com o objetivo de identificar atividades que não agregam valor e compreender os pontos de espera e desbalanceamento entre as etapas.

- **Proposição de melhorias logísticas**

A etapa final consistiu na elaboração de propostas de melhoria baseadas nos princípios Lean e nos problemas identificados no estado atual. As recomendações foram estruturadas a partir das evidências empíricas observadas no processo, considerando a eliminação de movimentações desnecessárias, a simplificação do fluxo e a reorganização física das atividades logísticas.

Para fins de documentação, o fluxograma geral do processo é apresentado no Apêndice A, Figura A.1, em versão simplificada, de modo a preservar informações sensíveis da empresa.

O fluxograma completo do processo foi desenvolvido com base nas observações e registros realizados em campo. Contudo, a fim de preservar informações estratégicas e respeitar as políticas de confidencialidade da empresa, será apresentado em versão resumida no Apêndice A, Figura A.1, contendo apenas as principais etapas e fluxos representativos. Essa abordagem garante a demonstração da estrutura metodológica sem expor dados sensíveis.

Figura 7 – Etapas metodológicas do estudo

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.4 Indicadores e métricas de avaliação

A análise do desempenho logístico foi conduzida com base em indicadores quantitativos e qualitativos, definidos para medir o impacto das melhorias propostas. O indicador principal adotado foi o número total de toques (*handling steps*) realizados na peça, que representa o total de movimentações físicas ao longo do fluxo logístico. O objetivo central do estudo foi reduzir esse número total de toques, buscando eliminar movimentações desnecessárias e, consequentemente, reduzir o *lead time* total do processo.

Como métricas complementares, foram considerados:

- Tempo médio de execução das atividades, obtido na cronoanálise;
- Tempo de espera entre macroprocessos, extraído de registros sistêmicos;
- Distância percorrida e movimentação de peças, analisadas de forma proporcional para identificar oportunidades de melhoria do fluxo físico.

Durante o tratamento dos dados, o tempo de espera entre microprocessos foi desconsiderado, uma vez que esses intervalos apresentam valores absolutos muito pequenos e não impactam significativamente o *lead time* total. Esses tempos foram incorporados indiretamente na medição do tempo de espera entre processos, o qual apresenta influência mais representativa sobre o desempenho global do fluxo logístico.

Essas métricas seguem os princípios de Slack, Chambers e Johnston (2018), que defendem a mensuração contínua dos objetivos de desempenho, velocidade, custo e confiabilidade, como forma de sustentar melhorias em processos produtivos.

Além das medições operacionais, foi conduzida uma análise do layout e do fluxo de peças, com o objetivo de compreender como a disposição física dos setores e áreas de armazenagem influencia a eficiência das movimentações. Essa análise foi realizada de forma observacional, complementando a avaliação quantitativa dos tempos e das distâncias percorridas.

3.5 Técnicas e instrumentos de coleta de dados

As informações utilizadas na pesquisa foram obtidas por observação direta, medições cronometradas, entrevistas informais com operadores e análise de documentos internos. A triangulação entre essas fontes, conforme recomenda Yin (2015), aumenta a confiabilidade dos resultados em estudos de caso.

A observação direta foi essencial para compreender as condições reais de operação e identificar oportunidades de melhoria que não aparecem nos registros formais. Já as medições cronometradas permitiram quantificar o tempo gasto em cada etapa e comparar o desempenho entre diferentes áreas. As entrevistas informais complementaram essas análises, permitindo entender a percepção dos operadores sobre os problemas mais recorrentes.

Para garantir a integridade das informações confidenciais, os valores exatos de tempo e produtividade foram ajustados de forma proporcional, mantendo a coerência entre as etapas do processo sem expor dados sensíveis. Essa conduta segue as práticas de compliance corporativo, assegurando a fidedignidade técnica das análises e o respeito às políticas internas da organização.

3.6 Limitações da pesquisa

As limitações desta pesquisa concentram-se na natureza da coleta de dados e no tratamento das informações. Primeiramente, o estudo restringiu-se a uma amostragem de cinco ciclos por atividade devido à dinamicidade da operação e ao acesso restrito durante o estágio. Em segundo lugar, por razões de confidencialidade corporativa, os dados absolutos foram normalizados, o que preserva as tendências estatísticas, mas impede a análise de custos monetários exatos.

3.7 Considerações éticas

Todas as etapas do estudo foram conduzidas em conformidade com as políticas internas da empresa e com os princípios éticos de pesquisa científica aplicados pela Universidade de São Paulo. Nenhum dado sensível, confidencial ou de identificação pessoal foi divulgado, e os registros foram tratados de forma anônima e agregada.

A execução das atividades em campo foi autorizada pela área de Engenharia Logística da empresa, e o compartilhamento das informações ocorreu exclusivamente para fins acadêmicos.

As decisões metodológicas e os resultados parciais foram discutidos com os colaboradores envolvidos, assegurando transparência, consentimento e integridade profissional.

4. Estudo de Caso e Resultados

4.1 Caracterização do processo estudado

O estudo foi desenvolvido na área de logística interna de uma empresa do setor aeroespacial, responsável pelo planejamento e execução das movimentações de materiais que suportam o processo produtivo. Essa área é fundamental para garantir o fornecimento contínuo de componentes à linha de montagem, mantendo a sincronia entre a disponibilidade de peças e o ritmo de produção.

A pesquisa concentrou-se na análise das movimentações internas de materiais, abrangendo todas as etapas envolvidas desde o descarregamento dos itens na área de recebimento até sua chegada na montagem final. Nesse intervalo, as peças passam por diversas operações logísticas, incluindo armazenagem, separação, transporte interno e abastecimento das linhas de montagem.

O foco principal do estudo foi identificar e analisar todos os *handling steps* existentes no processo logístico interno, com ênfase nas peças de pequeno volume, que representam a maior parte das movimentações logísticas internas. Esses itens, apesar do baixo volume individual, são responsáveis por uma alta frequência de movimentações, o que gera impacto direto na carga de trabalho dos operadores logísticos e no *lead time* total do processo.

O objetivo do estudo foi mapear e avaliar todas as movimentações físicas realizadas ao longo do fluxo logístico interno, visando identificar desperdícios, gargalos operacionais e oportunidades de melhoria. A partir dessa análise, buscou-se propor ações de melhoria baseadas nos princípios da filosofia Lean, direcionadas à redução de movimentações desnecessárias, à padronização das atividades e à melhoria do fluxo de materiais.

Dessa forma, o trabalho contribui para uma compreensão detalhada da estrutura logística interna e fornece subsídios para a projeção de um novo fluxo logístico, mais enxuto e compatível com as metas futuras da empresa, que envolvem maior agilidade, precisão e integração entre os setores de produção e logística.

4.2 Análise do estado atual

4.2.1 Descrição do fluxo logístico atual

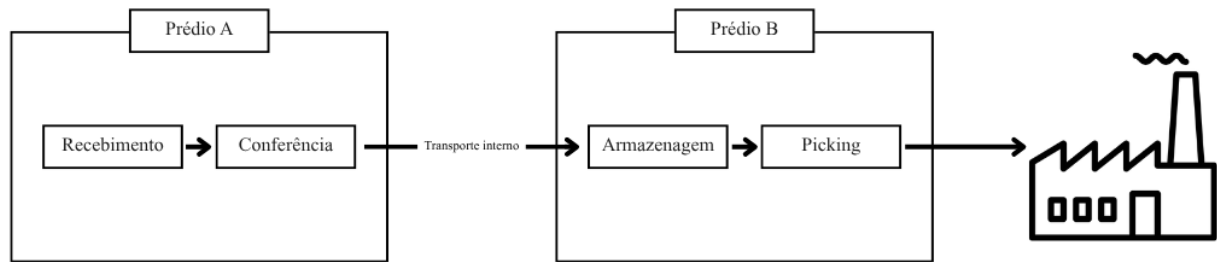
O fluxo logístico estudado compreende a movimentação de peças entre dois prédios distintos da empresa, que se integram de forma sequencial para garantir o abastecimento contínuo da linha de produção. Essa estrutura física segmentada reflete a complexidade do processo logístico interno e reforça a necessidade de uma gestão coordenada entre as diferentes etapas.

A Figura 8 apresenta uma visão geral do fluxo logístico entre os prédios A e B, evidenciando as principais etapas do processo e o deslocamento dos materiais até a linha de montagem.

Figura 8 – Fluxo logístico entre os prédios A e B

Fonte – Elaborada pelo autor (2025)

O processo tem início no prédio A, onde ocorre o recebimento dos materiais provenientes de fornecedores externos. Nessa etapa, os caminhões são descarregados e o material passa por um processo de conferência física e documental, no qual são verificadas as quantidades, os códigos dos itens e as condições de embalagem. Em seguida, as peças são direcionadas para uma inspeção de qualidade, etapa fundamental para assegurar que o material recebido atenda às especificações



técnicas exigidas pelo setor aeroespacial. A combinação dessas operações visa garantir a confiabilidade do suprimento antes que o item entre formalmente no fluxo interno da empresa.

Após a liberação na inspeção, os materiais são movimentados do prédio A para o prédio B, onde estão concentradas as atividades de armazenagem, separação e abastecimento de materiais. Nesse local, as peças são armazenadas em posições bem definidas, garantindo organização e rastreabilidade no controle dos estoques.

Quando há uma solicitação de produção, é iniciado o processo de picking e entrega. Os operadores logísticos coletam as peças armazenadas conforme a requisição e as levam até o ponto de entrega de materiais, onde os itens são organizados e separados de acordo com o destino. A partir daí, as peças são entregues diretamente nos postos de trabalho da linha de montagem, assegurando que cada componente chegue ao local correto dentro do tempo planejado.

Durante o mapeamento do processo foram identificados aproximadamente dezenove *handling steps*, número ajustado para preservar a confidencialidade das informações da empresa. Esses *handling steps* foram organizados em quatro macroprocessos principais, conforme representado no Apêndice A – Figura A.1, que apresenta o fluxograma geral do processo logístico interno:

- Recebimento: composto por quatro etapas que englobam o descarregamento, a triagem inicial e a conferência de materiais;
- Conferência e inspeção de qualidade: formado por cinco etapas, dedicadas à verificação técnica e liberação dos itens;
- Armazenagem: com quatro etapas, incluindo o transporte entre prédios e o posicionamento das peças nos locais corretos;
- Picking e entrega: constituído por seis etapas, abrangendo a coleta das peças, a organização no ponto de entrega e o transporte até os locais de montagem.

Essa estrutura representa o estado atual do fluxo logístico da empresa, evidenciando a sequência das operações e o papel de cada área no processo. A análise detalhada desse fluxo permitiu compreender a integração entre recebimento, armazenagem e abastecimento, além de evidenciar as principais fontes de movimentação e oportunidades de melhoria, que serão discutidas nas próximas seções.

4.2.2 Cronoanálise

4.2.2.1 Procedimento de coleta e tratamento dos dados

A coleta de dados fundamentou-se na técnica de Cronoanálise Direta, seguindo as diretrizes metodológicas de Barnes (2001). Para garantir a consistência das medições, o procedimento foi estruturado nas seguintes etapas técnicas:

- **Decomposição da Tarefa:** Cada macroprocesso foi dividido em elementos de trabalho (micro atividades) com pontos de início e fim (*breakpoints*) claramente definidos. Essa segregação permitiu isolar as etapas que agregam valor daquelas que constituem desperdícios óbvios, como caminhadas e esperas.

- **Determinação do Número de Ciclos:** Devido à natureza dinâmica das operações logísticas e às restrições de tempo para coleta em campo, adotou-se uma amostragem preliminar fixa de **cinco ciclos (n=5)** por atividade. Embora estatisticamente simplificada, essa amostra é considerada suficiente em abordagens *Lean (Kaizen)* para identificar a ordem de grandeza dos tempos e localizar gargalos evidentes no fluxo.
- **Cronometragem e Tratamento de Dados:** Utilizou-se o método de cronometragem com **volta a zero** (leitura individual por elemento). Durante o tratamento dos dados, foi aplicada uma análise crítica para identificação e expurgo de *outliers* (valores discrepantes gerados por causas especiais não recorrentes), garantindo que a média calculada representasse o tempo operacional típico em condições normais de trabalho.

Ressalta-se que os tempos resultantes apresentados neste estudo referem-se aos Tempos Médios Observados (TMO). Não foram aplicados fatores de ritmo (velocidade do operador) ou fatores de tolerância para fadiga e necessidades pessoais, uma vez que o objetivo do estudo é a comparação relativa de eficiência entre os cenários atual e futuro, e não a definição de padrões rígidos para remuneração ou balanceamento fino de linha.

4.2.2.2 Resultados e análise dos tempos

Com base nas medições realizadas, foram obtidos os tempos médios de execução de cada macroprocesso e os tempos de espera entre etapas, representando o desempenho do fluxo logístico atual. As medições foram ajustadas conforme descrito na subseção anterior, de modo a preservar as proporções entre as atividades sem expor informações confidenciais da empresa.

A Tabela 1 apresenta os tempos médios ajustados de execução das atividades pertencentes a cada macroprocesso. Esses valores representam o tempo efetivo de movimentação e processamento logístico, ou seja, o tempo em que o material esteve em operação.

Tabela 1 – Tempos médios ajustados por macroprocessos

Processo	Nº processos internos	Tempo médio (s)
Recebimento	4	94,29
Conferência	5	1835,68
Armazenagem	4	644,34
Picking	6	724,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise da Tabela 1 evidencia que o macroprocesso de conferência e inspeção é o mais representativo em termos de tempo médio, seguido das etapas de picking e entrega e armazenagem. O recebimento apresenta menor tempo total, por envolver atividades mais padronizadas e de menor complexidade. Observa-se, ainda, que o conjunto formado por conferência e inspeção concentra o maior esforço operacional, resultado esperado pela necessidade de controle de qualidade exigida pelo setor aeroespacial.

Além dos tempos de execução, também foram mensurados os tempos de espera entre macroprocessos, com o objetivo de avaliar as interrupções do fluxo de materiais e seu impacto no *lead time* total. Os tempos de espera foram considerados apenas nos intervalos diretamente relacionados à movimentação interna, ou seja:

- entre recebimento e conferência,
- entre conferência e armazenagem, e
- entre picking e entrega para a linha de montagem.

O tempo de espera interno ao recebimento (período em que os caminhões permanecem aguardando descarga) não foi considerado, pois não representa uma movimentação logística interna.

Da mesma forma, o intervalo entre armazenagem e início do picking foi desconsiderado, uma vez que varia conforme a demanda da produção e não apresenta um padrão consistente de recorrência.

A Tabela 2 apresenta os tempos de espera médios ajustados entre os macroprocessos analisados.

Tabela 2 – Tempos médios de espera entre macroprocessos

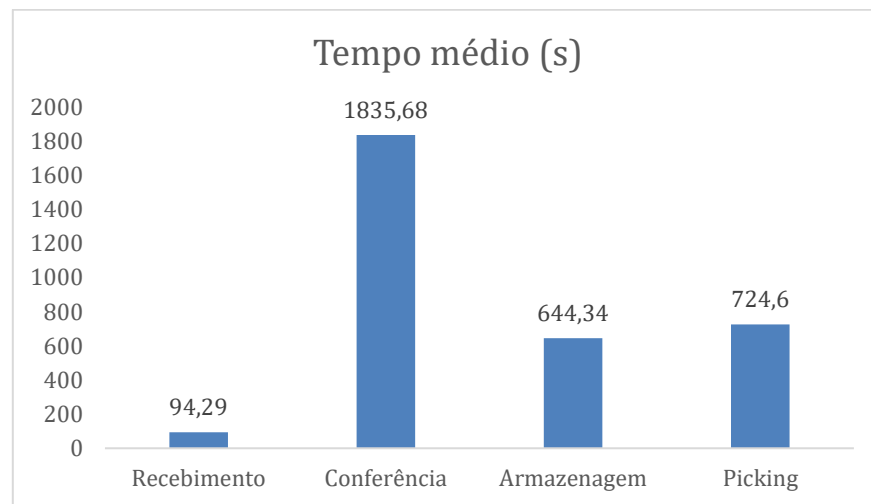
Processo	Tempo de Espera (dias)
Recebimento - Conferência	28
Conferência - Armazenagem	2,05
Picking - Entrega na linha	0,55

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os resultados mostram que o maior tempo de espera ocorre entre o recebimento e a conferência, caracterizando um intervalo expressivo antes do início das atividades internas de inspeção. Esse comportamento pode estar associado à priorização de lotes, à disponibilidade de recursos e à programação das inspeções de qualidade. Já os intervalos entre conferência e armazenagem e entre picking e entrega apresentam tempos significativamente menores, embora ainda representem oportunidades de melhoria em termos de sincronização e balanceamento de fluxo.

O gráfico da Figura 9 apresenta a distribuição dos tempos médios de execução de cada macroprocesso, permitindo uma visualização comparativa mais clara do desempenho das etapas ao longo do fluxo logístico.

Figura 9 – Gráfico do tempo médio dos macroprocessos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise conjunta das Tabelas 1 e 2 e da Figura 9 demonstra que as fases de conferência e inspeção de qualidade e de picking e entrega concentram a maior parcela do tempo total do processo logístico interno. Esse resultado confirma a presença de gargalos operacionais associados tanto às atividades de verificação técnica quanto às movimentações internas necessárias para o abastecimento da linha de montagem.

Dentre essas etapas, a conferência de materiais se destaca como a mais representativa em termos de tempo total, sendo responsável por uma fração significativa do *lead time* logístico.

Essa predominância decorre não apenas do rigor exigido nas atividades de inspeção e controle de qualidade, mas também da existência de movimentações complementares, como o deslocamento entre prédios e o transporte de materiais até as bancadas de conferência.

A análise dos tempos individuais desse macroprocesso evidencia que as movimentações internas e externas exercem influência direta sobre o desempenho da etapa, compondo uma parcela relevante do tempo total. As atividades de transporte e deslocamento entre áreas, apesar de necessárias para garantir o fluxo físico dos materiais, não agregam valor direto ao produto e caracterizam desperdícios do tipo transporte, conforme a classificação de Ohno (1997).

Com base nisso, foi realizado um desdobramento do macroprocesso de conferência em suas principais micro atividades operacionais, a fim de identificar com maior precisão a distribuição dos tempos e as oportunidades de melhoria dentro da etapa. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Tempos médios das micro atividades do processo de conferência

Macroprocesso	Processo	Tempo médio (s)
Conferência	Levar materiais para o ponto de espera	64,88
Conferência	Levar materiais para a bancada de conferência	85,10
Conferência	Realizar inspeção de qualidade	421,30
Conferência	Disponibilizar material para o transporte	198,51
Conferência	Transporte para o prédio B	1065,89

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise dos tempos apresentados evidência que o transporte entre prédios é o principal fator de aumento do tempo total do macroprocesso, representando aproximadamente 60% do tempo total da conferência. Essa etapa, apesar de necessária para a continuidade do fluxo, não agrega valor direto ao produto e se enquadra como um desperdício do tipo transporte, conforme definido por Ohno (1997). O elevado tempo dessa movimentação reforça a importância da proximidade física entre etapas logísticas e da revisão do arranjo espacial para reduzir deslocamentos desnecessários.

A inspeção de qualidade, com tempo médio de 421,30 segundos (cerca de 24% do total da etapa), representa a atividade de maior valor agregado dentro do macroprocesso, pois assegura a conformidade técnica e a rastreabilidade exigidas pelo setor aeroespacial. Ainda assim, seu tempo

de execução é ampliado pela necessidade de movimentações complementares, como o deslocamento de materiais entre o ponto de espera e a bancada de conferência.

As atividades de movimentação interna como “levar materiais para o ponto de espera” e “levar materiais para a bancada de conferência” correspondem, em conjunto, a cerca de 8% do tempo total. Embora sejam necessárias para a organização física do processo, essas operações configuram movimentações auxiliares que não transformam o produto nem agregam valor direto, sendo, portanto, passíveis de melhoria.

A etapa de disponibilização de material para o transporte, responsável por cerca de 8% do tempo total, envolve a organização final dos itens e a preparação para o envio ao prédio seguinte. Assim como as demais movimentações, trata-se de uma atividade essencial ao fluxo, mas que pode ser reduzida ou integrada a outras operações, de modo a simplificar o processo.

De maneira geral, os resultados reforçam que o macroprocesso de conferência é o principal gargalo da logística interna, não apenas pelo tempo total de execução, mas também pela quantidade de movimentações não produtivas associadas à sua realização. Segundo Womack e Jones (2004), a eliminação de etapas que não agregam valor é um dos princípios centrais do pensamento Lean e representa o caminho para o fluxo contínuo e a redução do *lead time*. Assim, a análise detalhada das micro atividades permite identificar oportunidades de reorganização do layout, padronização das tarefas e balanceamento do fluxo de trabalho, que serão exploradas na próxima seção.

4.3 Análise dos desperdícios e gargalos logísticos

A análise dos tempos obtidos na cronoanálise evidencia a presença de desbalanceamento entre os macroprocessos logísticos, caracterizado pela grande diferença entre os tempos médios de execução das etapas. Esse desnível operacional demonstra que o fluxo atual não opera de maneira nivelada, gerando acúmulo de materiais, esperas e interrupções entre atividades consecutivas, o que impacta diretamente o *lead time* total do processo.

O macroprocesso de conferência e inspeção de qualidade se destaca como o principal gargalo da logística interna, concentrando aproximadamente dois terços do tempo total das operações logísticas. Essa diferença significativa indica uma assimetria de fluxo, que, conforme

Hines e Taylor (2000), configura uma das principais causas de desperdício em sistemas Lean, pois impede a fluidez e a sincronização entre etapas.

A decomposição do macroprocesso de conferência em cinco micro atividades revelou que o transporte entre prédios é responsável por cerca de 60% do tempo total da etapa, evidenciando que movimentações logísticas excessivas são o maior fator de ineficiência do processo. Esse tipo de desperdício é classificado por Ohno (1997) como desperdício de transporte, uma das sete formas clássicas de *muda*, que consome tempo e recursos sem agregar valor ao produto.

A atividade de inspeção de qualidade, embora essencial para garantir a conformidade técnica dos materiais, representa cerca de 24% do tempo total da conferência e é ampliada pela necessidade de deslocamentos entre pontos distintos do fluxo. Essa característica demonstra a falta de integração física entre as etapas e reforça a importância de uma revisão do layout logístico para eliminar movimentações redundantes e facilitar a sequência operacional.

As demais micro atividades como levar materiais para o ponto de espera, posicionar o material na bancada de conferência e disponibilizá-lo para transporte somam aproximadamente 16% do tempo total da etapa, refletindo movimentações internas que, embora necessárias, não agregam valor direto e poderiam ser reduzidas com a padronização de rotas, melhoria da disposição física e uso mais eficiente de recursos de movimentação.

Em contrapartida, os macroprocessos de armazenagem e picking apresentaram tempos mais equilibrados e estáveis, sem variações significativas entre medições, o que sugere maior padronização operacional. Slack e Corrêa (2019) reforçam que a estabilidade dos métodos de trabalho é um pré-requisito para a melhoria contínua, uma vez que possibilita o controle das variáveis de processo e o monitoramento dos resultados. Já o macroprocesso de recebimento mostrou-se bem estruturado, representando apenas uma pequena fração do tempo total (aproximadamente 3%), o que indica eficiência e repetitividade nas atividades iniciais do fluxo.

De modo geral, o diagnóstico aponta que as principais oportunidades de melhoria se concentram na redução das movimentações logísticas e na revisão do arranjo físico entre os prédios envolvidos. A ausência de balanceamento entre macroprocessos e a distância física entre as áreas de conferência e armazenagem resultam em gargalos e desperdícios que comprometem a fluidez operacional.

Essas conclusões reforçam a importância da aplicação dos princípios Lean no ambiente logístico, especialmente no que se refere à eliminação de atividades sem valor agregado e à criação de fluxos contínuos, conforme proposto por Womack e Jones (2004). Dessa forma, a análise realizada fornece subsídios concretos para a construção do estado futuro, apresentado na próxima seção, que propõe ações de melhoria direcionadas à redução do *lead time*, balanceamento das etapas e melhoria do fluxo de movimentação interna.

4.4 Propostas de melhoria

Com base na análise dos tempos e das etapas do processo logístico, identificou-se que o principal gargalo da situação atual se encontra na etapa de conferência de materiais e, principalmente, nas movimentações associadas a essa atividade. Essa etapa concentra o maior tempo total de processamento e apresenta diversas movimentações que não agregam valor ao produto, sendo a principal causa do desbalanceamento entre os macroprocessos.

A proposta de melhoria de maior impacto está relacionada à readequação do layout físico da logística interna, visando a eliminação das movimentações entre prédios e a integração das etapas em um único ambiente de trabalho. Atualmente, os processos logísticos estão divididos entre os prédios A e B, o que gera a necessidade de transporte de materiais, preparação de carga e descarga, além de buffers intermediários para organizar as remessas. Essa configuração amplia o tempo total de conferência e aumenta a variabilidade dos processos.

Com a nova proposta, os sistemas de armazenagem, conferência, inspeção e picking seriam realocados para o prédio A, concentrando todas as atividades logísticas em um único espaço. Essa centralização elimina completamente as etapas de transporte entre prédios e os pontos de espera intermediários, reduzindo o número de *handling steps* e, conseqüentemente, o tempo de execução dos processos.

Além da diminuição das movimentações e do tempo total, essa nova configuração permite a criação de um fluxo logístico mais linear e contínuo, onde as atividades ocorrem em sequência e de forma sincronizada. Nessa disposição, o processo logístico passa a funcionar segundo a lógica de produção puxada, utilizando a demanda do processo subsequente como gatilho para o início das movimentações. Essa estrutura reduz o acúmulo de materiais, elimina esperas desnecessárias e melhora a previsibilidade do fluxo.

Outra consequência positiva da readequação é o balanceamento natural da linha logística, obtido pela redistribuição das etapas e pela redução das diferenças de tempo entre macroprocessos. Com a conferência ajustada e as movimentações eliminadas, as etapas passam a operar de forma mais equilibrada, sem formação de filas ou acúmulo de materiais aguardando inspeção. Esse resultado está alinhado aos princípios de Heijunka e fluxo contínuo descritos por Womack e Jones (2004), que defendem a estabilização dos tempos de ciclo como forma de reduzir desperdícios e melhorar o desempenho operacional.

Adicionalmente, projeta-se que a implementação deste novo fluxo impactará positivamente o tempo de espera de 28 dias identificado entre o recebimento e a conferência. Embora essa espera possua componentes de gestão de fila, a transição para um modelo puxado (*pull system*), aliada ao aumento da capacidade de vazão gerada pela eliminação dos transportes inter-prédios, permitirá que a operação processe o *backlog* com maior agilidade. Desta forma, a eficiência física atua como alavanca para a redução gradativa dos estoques em processo e dos tempos de fila administrativa.

Portanto, o estado futuro proposto tem como base a readequação do layout físico e o balanceamento natural do fluxo logístico, promovendo a redução do número de etapas, o nivelamento dos tempos de processamento e a eliminação das atividades que não agregam valor. O resultado esperado é um processo logístico mais ágil, estável e previsível, preparado para operar de acordo com os princípios do pensamento Lean e com menor *lead time* total.

4.4.1 Readequação de layout

A principal proposta de melhoria para o processo logístico interno consiste na readequação do layout físico, com o objetivo de eliminar as movimentações desnecessárias e reduzir os desperdícios de transporte identificados na análise do estado atual. Essa medida foi definida com base na constatação de que a movimentação entre prédios representa a maior parcela do tempo total da etapa de conferência, impactando diretamente o *lead time* logístico e o balanceamento das operações.

A proposta prevê a realocação dos sistemas de armazenagem e das atividades de picking para o prédio A, integrando-os às operações já existentes de recebimento e inspeção de qualidade. Dessa forma, todos os processos logísticos passariam a ocorrer em um único ambiente,

eliminando completamente as etapas de transporte entre prédios e os buffers intermediários utilizados para preparação, carregamento e descarga de materiais.

A definição pelo Prédio A como local centralizador das operações fundamentou-se em critérios técnicos de capacidade e infraestrutura instalada. A análise das instalações revelou que esta edificação é a única, entre as opções avaliadas (A e B), que apresenta área útil compatível com a consolidação integral dos processos logísticos.

Adicionalmente, o Prédio A oferece uma vantagem competitiva decisiva por já dispor de ativos industriais essenciais para a operação, especificamente pontes rolantes e docas de recebimento dimensionadas para o fluxo de materiais da empresa. A utilização dessa infraestrutura pré-existente viabiliza a execução das atividades de carga, descarga e movimentação pesada sem a necessidade de investimentos robustos (*CAPEX*) em novos equipamentos ou grandes obras civis, o que não seria possível no Prédio B.

Essa integração física resultaria em um fluxo logístico mais linear e contínuo, no qual os materiais passariam diretamente do recebimento e conferência para a armazenagem e, posteriormente, para o abastecimento da linha de produção, sem necessidade de movimentações adicionais. A simplificação do percurso reduziria o tempo total de processamento dos materiais e diminuiria o número de *handling steps* em 3 etapas, permitindo uma melhor utilização dos recursos e do espaço físico disponível.

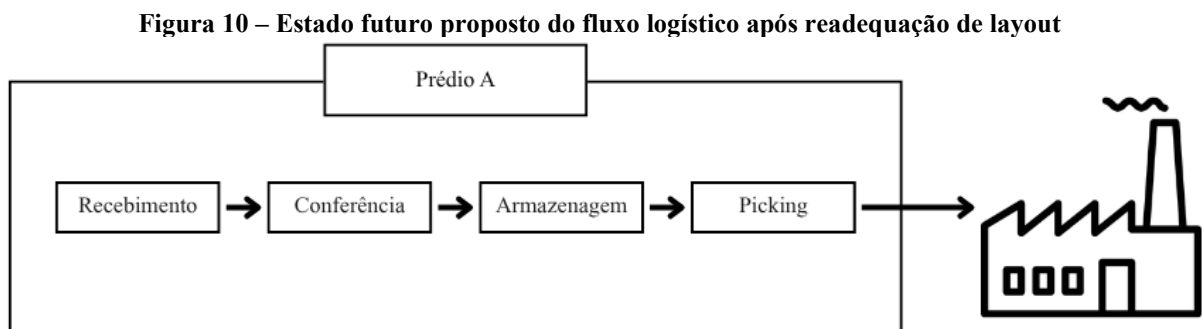
Além da redução do desperdício de transporte, a readequação do layout cria as condições necessárias para a implementação da lógica de produção puxada na logística interna. Nesse modelo, a demanda do processo subsequente passa a ser o gatilho para a movimentação dos materiais, eliminando a necessidade de estoques intermediários e reduzindo o acúmulo de produtos em espera. Segundo Womack e Jones (2004), o fluxo puxado é uma das práticas centrais da filosofia Lean e permite que os processos ocorram de forma sincronizada com a necessidade real do cliente, garantindo maior agilidade e previsibilidade operacional.

Do ponto de vista operacional, a unificação das etapas em um mesmo prédio também traria benefícios em termos de comunicação e coordenação entre equipes, uma vez que o compartilhamento do espaço físico facilitaria o acompanhamento dos processos e a priorização das demandas. Essa maior integração entre os setores de logística, qualidade e armazenagem

favorece a resolução imediata de não conformidades, reduzindo o retrabalho e os tempos de espera associados à transferência de informações entre áreas distintas.

A nova configuração proposta representa um estado futuro mais enxuto e eficiente, no qual o fluxo logístico se torna contínuo, com todas as atividades integradas em um mesmo ambiente. Essa reorganização física elimina deslocamentos desnecessários, reduz tempos de transporte e simplifica o percurso dos materiais entre as etapas de recebimento, conferência, armazenagem e entrega à linha. Além disso, o novo arranjo proporciona maior visibilidade operacional e sincronização entre setores, favorecendo a coordenação das atividades e a rápida identificação de gargalos.

A Figura 10 apresenta uma representação esquemática do estado futuro proposto do fluxo logístico, ilustrando a consolidação das atividades no prédio A e a eliminação das movimentações entre prédios, que eram uma das principais fontes de desperdício identificadas no estado atual.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Após a adequação do layout e a redistribuição dos processos logísticos dentro do prédio A, foi possível estimar novos tempos de execução para os macroprocessos, considerando a eliminação das movimentações e preparações associadas ao transporte entre prédios. Com a centralização das operações em um único local, os *handling steps* referentes ao deslocamento, carregamento e descarga de materiais deixaram de existir, reduzindo de forma significativa o tempo total de processamento logístico.

Essa reestruturação física também simplificou a sequência operacional, tornando o fluxo mais direto e permitindo uma reavaliação dos tempos médios de cada macroprocesso e das micro

atividades associadas à conferência. Os novos tempos estimados são apresentados nas Tabelas 4 e 5, que demonstram os ganhos obtidos com a eliminação das atividades que não agregam valor e com a redução das movimentações internas.

Tabela 4 – Estimativa dos tempos totais por macroprocesso após adequação de layout

Processo	Nº processos internos	Tempo médio (s)
Recebimento	4	94,29
Conferência	3	571,28
Armazenagem	3	611,49
Picking	6	724,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 5 – Novos tempos das micro atividades da conferência após readequação de layout

Macroprocesso	Processo	Tempo médio antes (s)
Conferência	Levar materiais para o ponto de espera	64,88
Conferência	Levar materiais para a bancada de conferência	85,10
Conferência	Realizar inspeção de qualidade	421,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise dos tempos apresentados demonstra que a readequação do layout logístico gerou uma redução expressiva no tempo total do macroprocesso de conferência, que anteriormente era a etapa mais representativa do fluxo e o principal gargalo da logística interna. no cenário atual, Tabela 1, a conferência possuía um tempo médio total de 1.835,68 segundos, enquanto na nova configuração, Tabela 4, esse valor foi reduzido para 571,28 segundos, o que representa uma diminuição de aproximadamente 69% no tempo total da atividade.

Essa redução está diretamente relacionada à eliminação dos dois *handling steps* associados às movimentações entre prédios, que deixaram de existir com a unificação das operações no prédio A. Além disso, o tempo de transporte entre prédios, que anteriormente representava mais de 60% do tempo da conferência, foi completamente suprimido. A nova disposição física permite que o fluxo ocorra de forma contínua, com movimentações curtas e previsíveis, reduzindo significativamente as esperas e o esforço de transporte.

A Tabela 5, que detalha as micro atividades do processo de conferência no estado futuro, evidencia que apenas as operações essenciais foram mantidas: o transporte interno dos materiais até o ponto de conferência, o posicionamento na bancada e a inspeção de qualidade. Essas etapas,

além de mais curtas, apresentam maior estabilidade e menor variabilidade entre medições, resultado da melhor organização do espaço físico e da padronização dos fluxos de movimentação.

Em relação às demais etapas do processo logístico, não foram observadas alterações significativas de tempo após a adequação do layout. Os macroprocessos de recebimento e picking mantiveram desempenhos estáveis, pois suas atividades já se encontravam bem estruturadas e não dependiam diretamente da movimentação entre prédios. Entretanto, a etapa de armazenagem apresentou uma pequena redução de um handling step, relacionada à eliminação de uma movimentação redundante anteriormente necessária para reposicionamento dos materiais. Essa simplificação contribuiu para a leve redução do tempo total da atividade, reforçando a tendência de melhoria geral no fluxo.

De forma geral, as mudanças propostas resultaram em um processo logístico mais enxuto, com menos movimentações e menor dispersão temporal entre as etapas, o que favorece a criação de um fluxo contínuo e puxado, conforme os princípios estabelecidos por Womack e Jones (2004). A readequação do layout e a consequente eliminação de atividades que não agregam valor permitiu equilibrar as cargas de trabalho entre os macroprocessos e aproximar o desempenho operacional de um modelo Lean de logística interna.

Além das reduções obtidas nos tempos de processo, a readequação do layout também resultou em um balanceamento natural da linha logística, uma vez que a eliminação das movimentações redundantes e a redistribuição das atividades dentro do prédio A reduziram as diferenças de tempo entre os macroprocessos. Com a conferência ajustada e as etapas mais próximas fisicamente, o fluxo passou a ocorrer de forma mais nivelada e previsível, evitando o acúmulo de materiais aguardando inspeção e diminuindo as esperas entre o recebimento e o início da conferência. Esse nivelamento reforça o princípio de Heijunka, que preconiza a uniformização da carga de trabalho como condição essencial para o fluxo contínuo. Assim, o novo arranjo físico não apenas simplificou o percurso dos materiais, mas também promoveu uma harmonização entre os tempos de execução, tornando o processo logístico mais estável, equilibrado e alinhado aos princípios do pensamento Lean.

Apesar das reduções expressivas obtidas nos tempos de processamento e movimentação, não foi possível estimar quantitativamente a redução dos tempos de espera entre macroprocessos.

Essa limitação ocorre porque o tempo de espera está diretamente associado à recorrência operacional e ao comportamento dinâmico da linha logística ao longo do tempo, fatores que só podem ser observados após a implementação efetiva do novo fluxo. Assim, as estimativas apresentadas neste estudo refletem uma projeção estrutural do estado futuro, baseada na eliminação das causas de espera e no balanceamento das etapas, mas a validação prática dos resultados dependerá do desempenho real do processo após sua aplicação.

4.4.2 Desafios e Considerações para a Implementação do Novo Layout

Apesar dos claros benefícios em termos de eficiência e redução de desperdícios, a proposta de readequação do layout físico para consolidar as operações logísticas no prédio A apresenta desafios significativos que merecem consideração detalhada. A movimentação de maquinários de armazenagem, como estantes e equipamentos de manuseio de materiais, constitui um dos maiores obstáculos. Este processo, por sua natureza, exigiria um tempo considerável e um custo elevado, tanto em termos de desmontagem, transporte e remontagem, quanto na necessidade de possíveis adaptações estruturais do novo espaço.

Adicionalmente, a magnitude da intervenção no layout pode levar a uma paralisação ou redução temporária da capacidade produtiva em certas áreas, o que demanda um planejamento estratégico rigoroso para mitigar impactos na entrega e nos cronogramas de produção. A mobilização de mão de obra especializada para executar essa transição seria intensiva e a coordenação de suas atividades para não impactar a operação existente representam um desafio complexo. O período em que a mudança estaria em andamento, que se estende por meses, implicaria na existência de um processo logístico híbrido e dividido. Durante essa fase transitória, as operações poderiam se tornar mais suscetíveis a erros e a gestão da logística interna enfrentaria dificuldades consideráveis, exigindo um monitoramento constante e planos de contingência robustos para manter a sincronia e o abastecimento das linhas de produção.

Outras complicações incluem a necessidade de gerenciar o estoque existente durante a transição, que pode exigir áreas provisórias ou métodos temporários de controle, e a manutenção rigorosa da rastreabilidade e dos padrões de qualidade de todas as peças, requisitos inegociáveis no setor aeroespacial. Além disso, a mudança de um layout estabelecido pode gerar resistência por parte dos colaboradores, que estarão adaptando-se a novas rotinas e fluxos de trabalho, tornando essencial um plano de comunicação e treinamento eficaz para garantir a adesão e o

sucesso da transição. A complexidade de realocar grandes volumes de material e equipamentos, garantindo a rastreabilidade e a integridade dos itens em um ambiente aeroespacial de alta exigência, demanda um planejamento extremamente detalhado e uma comunicação eficaz com todas as partes interessadas. Estes fatores ressaltam a importância de uma análise de viabilidade aprofundada, considerando não apenas os ganhos operacionais, mas também os riscos e custos associados à fase de transição.

5. Conclusões e Recomendações

5.1 Síntese das Conclusões

Este estudo teve como objetivo principal propor melhorias no processo logístico interno de uma empresa do setor aeroespacial, com foco na redução de *handling steps* e melhoria do *lead time*, por meio da aplicação dos princípios da *Lean Logistics*. Através de um estudo de caso único, metodologia preconizada por Yin (2015) para investigações aprofundadas em contextos reais, foi realizada uma análise do fluxo logístico atual, utilizando técnicas de mapeamento de processos e cronoanálise, seguindo as recomendações de Barnes (2001) para medições precisas.

Os resultados revelaram um desbalanceamento significativo no processo logístico atual, com o macroprocesso de conferência e inspeção de qualidade identificado como o principal gargalo. A análise detalhada demonstrou que as movimentações entre prédios representavam a maior parcela de tempo e configuravam um desperdício de transporte substancial, um dos sete tipos clássicos de *muda* descritos por Ohno (1997). A presença de tempos de espera elevados entre macroprocessos também evidenciou oportunidades críticas para aprimoramento da sincronização do fluxo.

Em resposta a esses achados, foi proposta uma readequação do layout físico, consolidando as atividades de armazenagem, conferência, inspeção e *picking* em um único ambiente. Esta mudança estratégica visa eliminar as movimentações inter-prédios, reduzir o número de *handling steps* e promover um fluxo logístico mais linear, contínuo e puxado, em consonância com os cinco princípios Lean de Womack e Jones (2004). As estimativas indicaram uma redução expressiva de aproximadamente 69% no tempo total do macroprocesso de conferência, corroborando o potencial da filosofia Lean para otimizar processos complexos. A nova configuração não apenas simplifica o percurso dos materiais, mas também favorece o balanceamento das cargas de trabalho e a estabilidade dos tempos de execução, alinhando o processo aos ideais do *Heijunka* e do fluxo contínuo, elementos centrais do Sistema Toyota de Produção (STP) conforme abordado por Liker (2005).

5.2 Contribuições Práticas e Acadêmicas

Este trabalho oferece contribuições práticas substanciais para a empresa estudada, ao identificar ineficiências concretas e propor soluções baseadas em princípios reconhecidos de *Lean Logistics*. A análise detalhada dos *handling steps* e a quantificação dos tempos médios fornecem uma base sólida para a tomada de decisão estratégica em projetos de melhoria contínua, visando maior agilidade, precisão e competitividade no setor aeroespacial. A proposta de um layout otimizado, embora projetada, serve como um roteiro para futuras implementações, com potencial de impactar positivamente o desempenho operacional e financeiro da organização, conforme destacado por Tulli, Villazón e Serrano (2023) sobre técnicas de melhoria de layout.

5.3 Limitações do Estudo

A principal limitação deste estudo reside no caráter projetado das melhorias. Como a readequação física do *layout* não foi implementada durante o período da pesquisa, os resultados de ganho de tempo (redução de 69%) são estimativas baseadas na eliminação de desperdícios, e não medições empíricas pós-intervenção. Além disso, por se tratar de um estudo de caso único em um nicho específico (peças pequenas), a generalização dos resultados para outros fluxos da empresa deve ser feita com cautela.

5.4 Sugestões para Continuidade

Para aprofundar os achados deste estudo e consolidar as melhorias propostas, sugerem-se as seguintes ações futuras:

- **Validação Pós-Implantação:** Realizar novas medições *in loco* após a mudança física do *layout* para confirmar a redução projetada do *lead time* e dos *handling steps*, confrontando os dados estimados com a realidade operacional.
- **Análise Financeira Detalhada:** Conduzir um estudo aprofundado de custo-benefício (ROI), comparando os investimentos necessários na infraestrutura do Prédio A com a redução de custos operacionais (*OPEX*) gerada pela eliminação dos transportes.
- **Gestão da Mudança:** Desenvolver um plano estruturado de cultura *Lean* e treinamento para os colaboradores, visando mitigar resistências e garantir a sustentabilidade dos novos processos padronizados.
- **Digitalização e Expansão:** Avaliar a integração de tecnologias da Indústria 4.0, como rastreamento em tempo real, e expandir a metodologia aplicada para outros fluxos logísticos da empresa, como a logística reversa e materiais de grande porte.

5.5 Dificuldades Encontradas e Aprendizados Adquiridos

A realização deste estudo proporcionou uma vivência prática intensa, revelando desafios que ultrapassam a aplicação teórica das ferramentas de engenharia. Uma das principais dificuldades encontradas residiu na coleta de dados em campo (*Gemba*). A cronoanálise manual em um ambiente operacional dinâmico exigiu não apenas rigor técnico para garantir a precisão das medições, mas também sensibilidade para não interferir na rotina dos operadores, uma vez que a interrupção do fluxo em um setor aeroespacial pode gerar impactos significativos.

Outro desafio relevante foi o tratamento da confidencialidade dos dados. A necessidade de normalizar as informações quantitativas para preservar o sigilo estratégico da empresa exigiu um cuidado metodológico adicional, garantindo que as proporções e as conclusões estatísticas se mantivessem fidedignas sem expor valores absolutos sensíveis.

No que tange aos aprendizados, o estudo evidenciou a discrepância que muitas vezes existe entre o fluxo sistêmico (ERP) e o fluxo físico real. Ficou claro que os sistemas de gestão nem sempre capturam os *handling steps* e as micro-movimentações que geram desperdícios, reforçando a importância da observação direta defendida pela filosofia *Lean*. Além disso, compreendeu-se que a proposição de mudanças estruturais, como a readequação de *layout*, não é apenas um problema matemático de otimização de espaço, mas um desafio de gestão de mudança

que envolve convencer *stakeholders* e demonstrar ganhos tangíveis em segurança e eficiência para justificar o investimento.

Dessa forma, este trabalho consolidou a visão de que a Engenharia de Produção deve atuar na interseção entre a análise técnica quantitativa e a compreensão dos fatores humanos e operacionais que sustentam o processo produtivo.

Referências

- AMBROSIO-FLORES, P. et al.** Lean logistics: A literature review of case studies and conceptual framework proposal. *International Journal of Production Economics*, v. 249, p. 108–120, 2022.
- AMBROSIO-FLORES, P.; VILLALOBOS, J. R.; ACEVEDO, J. A.** A new value stream mapping approach for administrative and service processes. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 13, n. 2, p. 451–474, 2022.
- BARNES, D.** Operations Management: An International Perspective. Londres: Thomson Learning, 2008.
- CRUTE, V.; BROWN, S.; GRAVES, A.; MENDIRATTA, D.** Implementing Lean in aerospace – challenging the assumptions and understanding the challenges. *Technovation*, v. 23, p. 917–928, 2003.
- HINES, P.; TAYLOR, D.** Going Lean. Cardiff: Lean Enterprise Research Centre, 2000.
- LIKER, J. K.** O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- LOPEZ, J. C.** Lean logistics: principles, applications and future trends. *Sustainability*, v. 12, n. 5977, p. 1–15, 2020.
- MIGUEL, P. A. C.** Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- OHNO, T.** O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- SLACK, N.; CORRÊA, H. L.** Administração da produção. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- SUNDAR, R.; BALAJI, A. N.; SATHEESH KUMAR, R. M.** A review on Lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, v. 97, p. 1875–1885, 2014.

TULLI, F.; VILLAZÓN, M.; SERRANO, I. Warehouse layout optimization techniques for improved order fulfillment efficiency. *International Journal of Applied Industrial Engineering (IJAI)*, v. 10, n. 1, p. 1–20, 2023.

VILLAZÓN, M.; SERRANO, I.; TULLI, F. Lean logistics: concepts, applications and digital transformation opportunities. *Logistics*, v. 8, n. 132, p. 1–23, 2022.

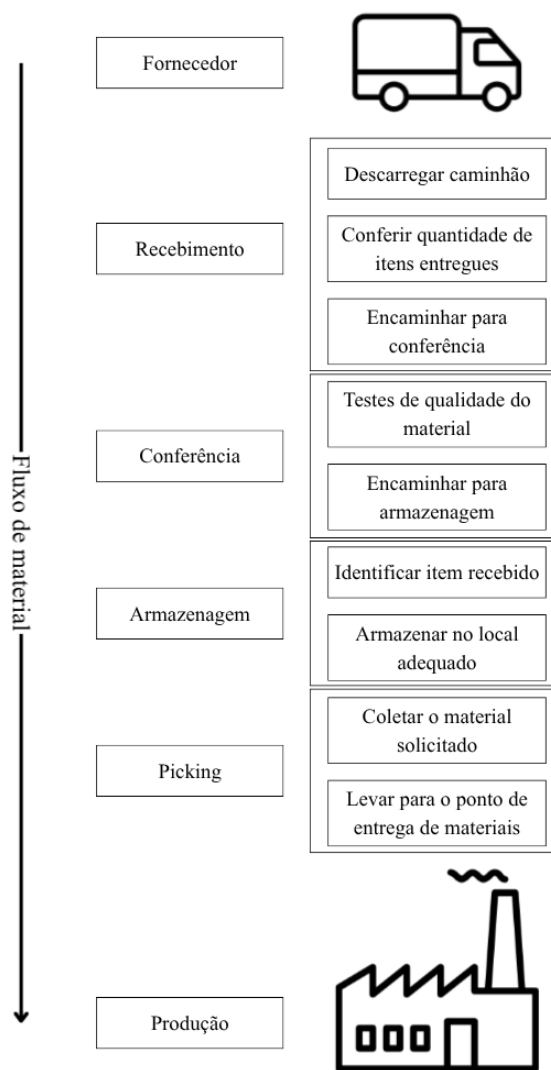
WOMACK, J. P.; JONES, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Apêndices

Apêndice A

Figura A.1 – Fluxograma dos processos simplificado



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)