

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

PIETRO VISHNEVSKY CÓSIMO

Aplicação do pensamento enxuto em um centro de distribuição

São Carlos
2025

PIETRO VISHNEVSKY CÓSIMO

Aplicação do pensamento enxuto em um centro de distribuição

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

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

CC834a Cósimo, Pietro Vishnevsky
Aplicação do pensamento enxuto em um centro de
distribuição / Pietro Vishnevsky Cósimo; orientador
Kleber Francisco Espôsto. São Carlos, 2025.

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

1. Lean Logistics. 2. Lean Manufacturing. 3.
Logística. 4. Centro-de-Distribuição. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Pietro Vishnevsky Cósimo
Título do TCC: Aplicação do pensamento enxuto em um centro de distribuição
Data de defesa: 01/07/2025

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Doutor Kleber Francisco Espôsto (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor Lucas Gabriel Zanon	APROVADO
Instituição: EESC – SEP	
Professor Doutor Walther Azzolini Júnior	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	

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

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, sempre me apoiaram a seguir meus sonhos, e me possibilitaram chegar até aqui.

Ao meu irmão, por ser minha maior inspiração e minha motivação.

A todos os meus amigos que fizeram que a jornada até aqui se tornasse prazerosa.

A Universidade de São Paulo e aos professores pela oportunidade e por participarem da minha formação acadêmica com tamanha excelência.

“O sucesso não consiste em não errar, mas em não cometer os mesmos equívocos mais de uma vez.” (George Bernard Shaw)

RESUMO

CÓSIMO, P. V. **Aplicação do pensamento enxuto em um centro de distribuição.** 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

A eficiência operacional em centros de distribuição configura-se como um desafio contínuo para organizações que buscam otimizar seus processos logísticos e reduzir custos. A implementação de melhorias sustentáveis e mensuráveis ainda encontra barreiras significativas, sobretudo quando não há métodos estruturados para avaliar a efetividade das intervenções. Nesse cenário, o Pensamento Enxuto (Lean) apresenta-se como uma abordagem de gestão voltada à eliminação de desperdícios e à elevação da produtividade, sendo amplamente adotada no setor logístico. Este trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da aplicação de práticas Lean em um centro de distribuição, por meio da avaliação de indicadores de desempenho antes e após a implementação das intervenções. O método foi estruturado em três etapas: revisão bibliográfica, aplicação prática de intervenções Lean e análise estatística dos resultados. Foram implementadas melhorias como a adaptação do sistema Kanban, a padronização da ocupação dos veículos e a sincronização dos turnos operacionais. Como resultado, observou-se um aumento na taxa de conformidade da expedição de 98,4% para 99,98%, uma redução de 12% na quantidade de viagens realizadas por loja e uma diminuição de 32% nas movimentações internas entre setores. As análises estatísticas confirmaram a significância dessas melhorias. Conclui-se que a integração entre práticas Lean e sistemas tecnológicos de apoio representa uma estratégia eficaz para aprimorar a gestão de armazéns e centros de distribuição, promovendo ganhos operacionais mensuráveis.

Palavras-chave: Lean Logistics. Lean Manufacturing. Logística. Centro-de-Distribuição.

ABSTRACT

CÓSIMO, P. V. **Application of lean thinking in a distribution center.** 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

Operational efficiency in distribution centers remains a continuous challenge for organizations seeking to optimize their logistical processes and reduce costs. The implementation of sustainable and measurable improvements often faces significant barriers, especially when structured methods for evaluating effectiveness are lacking. In this context, Lean Thinking emerges as a management approach focused on eliminating waste and increasing productivity and is widely adopted in the logistics sector. This study aimed to analyze the effects of implementing Lean practices in a distribution center through the evaluation of performance indicators before and after the interventions. The methodology was divided into three stages: literature review, practical implementation of Lean strategies, and statistical analysis of the outcomes. Key interventions included the adaptation of a Kanban system, the optimization of vehicle loading through standardized remounting, and the synchronization of operational shifts. As a result, the shipment compliance rate increased from 98.4% to 99.98%, the number of deliveries per store decreased by 12%, and internal interdepartmental movements were reduced by 32%. Statistical analyses confirmed the significance of these improvements. It is concluded that the integration of Lean practices with supporting technological systems represents an effective strategy for enhancing the management of warehouses and distribution centers, delivering measurable operational gains.

Keywords: Lean Logistics. Lean Manufacturing. Logistics. Distribution Center.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quadro Kanban.....	25
Figura 2 – Kanban para Conferência de Carga e Remonte.....	25
Figura 3 – Recebimento e conferência de produtos de Cross-Docking.....	30
Figura 4 – Picking (no chão), e Pulmão (na longarina).....	31
Figura 5 – Fila de FLV em conferência e recebimento.....	32
Figura 6 – Fila de FLV pronta para Expedição.....	33
Figura 7 – FLV armazenado na Câmara Fria.....	33
Figura 8 – Separação de Produtos de Cross-Docking.....	34
Figura 9 – Paletes prontos para irem para a doca.....	35
Figura 10 – Paletes na doca prontos para serem expedidos.....	35
Figura 11 – Ciclo de pesquisa-ação.....	36
Figura 12 – Fluxo Tradicional x Fluxo Contínuo.....	40
Figura 13 – Boxplot da taxa de conformidade na Expedição.....	49
Figura 14 – Boxplot do número de viagens diárias por loja.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de Movimentações entre Setores por Mês.....	52
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CD	Centro de Distribuição
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EWM	Extended Warehouse Management (Sistema de Gerenciamento de Armazéns)
FLV	Frutas, Legumes e Verduras
KPI	Key Performance Indicator (Indicador-Chave de Desempenho)
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UC	Unidade de Carga
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Contextualização e Justificativa.....	15
1.2 Objetivo.....	16
1.3 Justificativa.....	17
1.4 Estrutura e Organização do Trabalho.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Logística e o Papel de Warehouses.....	20
2.1.1 Valores da Logística.....	20
2.1.2 Atividades da Logística.....	20
2.2 Centro de Distribuição (CD).....	21
2.2.1 Limitações de Funções do CD no Estudo.....	22
2.3 Conceitos Essenciais do Pensamento Enxuto (Lean).....	22
2.4 Aplicação do Lean em centros de distribuição.....	23
2.5. Kanban na Logística.....	24
2.6 Sincronização de Turnos em Armazéns Lean.....	26
2.7 Sistema SAP EWM.....	27
2.8 Desafios na Implementação do Lean em Warehouses.....	28
3. ESTUDO DE CASO.....	30
3.1 Recebimento.....	30
3.2 Pulmão.....	31
3.4 Separação de Pedidos (Picking).....	31
3.5 FLV (Frutas, Legumes e Verduras).....	32
3.5 Câmara Fria.....	33
3.6 Cross-Docking.....	34
3.7 Expedição.....	34
4. MÉTODO DE PESQUISA.....	36
4.1 Abordagem Geral da Pesquisa.....	36
4.2 Coleta e Análise de Dados.....	36
4.3 Implementação do Sistema Kanban para Conferência de Cargas.....	37
4.4 Otimização do Aproveitamento de Carga.....	38
4.5 Sincronização dos Turnos Operacionais.....	39
4.6 Análise Estatística dos Resultados.....	41
4.6.1 Método de Tukey para Identificação de Outliers.....	42
4.6.2 Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.....	43
4.6.3 Teste t Pareado.....	44
4.6.3 Coeficiente de Correlação de Pearson.....	45
4.6.3 Regressão Linear Múltipla.....	46
4.6.4 Teste de Homocedasticidade de Breusch-Pagan.....	46
4.6.5 Medidas de Tamanho do Efeito: d de Cohen.....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1 Sistema Kanban para Conferência de Cargas.....	48
5.2 Otimização do Aproveitamento de Carga.....	50

5.3 Sincronização dos Turnos Operacionais.....	52
5.4 Análise Integrada e Sinergia entre as Intervenções.....	54
5.5 Discussão.....	55
6. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Justificativa

A gestão de *warehouses* (armazéns) e centros de distribuição tem se consolidado como um dos principais desafios estratégicos para organizações que buscam competitividade em um mercado globalizado e cada vez mais exigente. Nesse cenário, a eficiência operacional e a redução de custos logísticos tornam-se fatores críticos para o sucesso empresarial. Diante disso, a aplicação do Pensamento Enxuto (Lean) emerge como uma mentalidade fundamental para eliminar desperdícios, otimizar processos e elevar a produtividade, podendo ser utilizada em ambientes logísticos (WOMACK; JONES, 2003).

Originado no Sistema Toyota de Produção (STP), o Lean é uma mentalidade de gestão que visa maximizar o valor entregue ao cliente enquanto minimiza atividades que não agregam valor, conhecidas como *mudas* (OHNO, 1988). Estes desperdícios podem se manifestar de diversas formas, como excesso de movimentações, tempos de espera, superprodução, defeitos e subutilização de recursos. A aplicação dos princípios Lean em centros de distribuição tem ganhado destaque devido à sua capacidade de transformar operações logísticas complexas em processos mais ágeis e eficientes (BARTHOLDI; HACKMAN, 2014).

No entanto, a implementação do Lean em ambientes de armazenagem e distribuição enfrenta desafios específicos, como a complexidade das operações logísticas, a necessidade de sincronização entre diferentes setores (recebimento, armazenagem, picking e expedição) e a gestão eficaz de recursos, incluindo espaço físico, mão de obra e tecnologia (CHRISTOPHER, 2016). Além disso, a falta de monitoramento contínuo e a ausência de indicadores de desempenho claros podem comprometer a sustentabilidade das melhorias implementadas, levando a retrocessos e perda de eficiência ao longo do tempo.

A pesquisa, portanto, se justifica pela necessidade de métodos estruturados que integrem ferramentas de gestão Lean e sistemas tecnológicos avançados, contribuindo para a eficiência operacional e a redução de custos em ambientes logísticos e sua relevância também reside em seu potencial de aplicação prática. Centros de distribuição que operam com altos volumes de mercadorias, especialmente em setores como varejo e alimentos, enfrentam pressões constantes para reduzir custos e aumentar a velocidade de entrega. A implementação de práticas Lean, como o sistema Kanban adaptado, a padronização de cargas e a

sincronização de turnos, pode gerar impactos significativos na produtividade e na qualidade dos serviços prestados.

Além disso, este trabalho busca contribuir para a literatura acadêmica ao apresentar um estudo de caso detalhado sobre a aplicação do Lean em um ambiente real de *warehouse*, complementando as discussões teóricas com dados empíricos e análises quantitativas. A combinação entre princípios Lean e tecnologias como o SAP EWM representa uma abordagem inovadora, capaz de superar alguns dos principais desafios enfrentados pela logística moderna.

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os impactos da aplicação da mentalidade enxuta (Lean) nas operações de um centro de distribuição, a partir da análise quantitativa de indicadores de desempenho obtidos antes e após a implementação de intervenções baseadas em práticas Lean. Para alcançar tal propósito, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

Primeiramente, busca-se implementar um sistema Kanban adaptado ao contexto logístico do centro de distribuição, com o intuito de promover a padronização visual do processo de conferência de cargas e reduzir a incidência de erros na expedição. Essa prática, alinhada aos princípios do Lean, visa eliminar desperdícios por espera e movimentações desnecessárias, além de fortalecer a gestão visual, um pilar fundamental na jornada de maturidade Lean (Liker, 2004).

Em complemento, objetiva-se otimizar a ocupação volumétrica dos veículos de transporte por meio da padronização de cargas e aplicação de estratégias de remonte, com vistas à redução do número de viagens e dos custos logísticos associados. Essa intervenção está diretamente relacionada ao conceito de eliminação de muda (desperdício) por transporte e subutilização de recursos, conforme preconizado por Ohno (1988), e contribui para a evolução da implementação Lean no ambiente logístico.

Também constitui objetivo específico promover a sincronização entre os turnos operacionais dos diversos setores do armazém, a fim de eliminar desperdícios por espera e assegurar maior fluidez no fluxo interno de materiais e informações. Essa abordagem reflete a aplicação do princípio Lean de fluxo contínuo (Womack & Jones, 2003) e demonstra um avanço na maturidade da implementação Lean, ao integrar processos e reduzir gargalos operacionais.

Além disso, pretende-se utilizar o sistema SAP EWM como instrumento de apoio à coleta estruturada de dados e ao monitoramento dos resultados, permitindo a aplicação de métodos estatísticos rigorosos para avaliação do desempenho operacional e financeiro. A integração entre tecnologia e práticas Lean é essencial para sustentar a melhoria contínua e escalar a maturidade da implementação ao longo do tempo (Knapp, 2016).

Por fim, este trabalho aborda a jornada Lean (Lean journey) como um processo contínuo de transformação organizacional que se manifesta no centro de distribuição estudado. Conforme fundamentado por Liker e Hoseus (2008), a jornada Lean representa uma trajetória evolutiva que vai além da simples aplicação de ferramentas, incorporando-se progressivamente na cultura operacional da organização. No contexto desta pesquisa, observa-se que a jornada se desenvolveu a partir de um diagnóstico inicial dos desperdícios, seguido pela implementação adaptada de ferramentas Lean como o Kanban logístico e a padronização de cargas, culminando na internalização desses métodos nos processos cotidianos. A análise dos dados revela que essa trajetória não foi linear, mas sim marcada por ciclos de aprendizagem e ajustes contínuos, característicos de uma verdadeira transformação Lean. A integração com o sistema SAP EWM atuou como catalisadora desse processo, permitindo mensurar os avanços e identificar novas oportunidades de melhoria. Esta experiência concreta ilustra como a jornada Lean se materializa na prática operacional, transformando princípios teóricos em resultados tangíveis de eficiência e qualidade, ao mesmo tempo que prepara a organização para estágios mais avançados de maturidade enxuta.

1.3 Justificativa

A aplicação do Pensamento Enxuto em *warehouses* é essencial para a competitividade das organizações, uma vez que permite a redução de custos logísticos, o aumento da eficiência operacional e a melhoria da qualidade dos serviços prestados (BARTHOLDI; HACKMAN, 2014). No entanto, a implementação do Lean nesses ambientes enfrenta desafios significativos, como a resistência à mudança por parte dos colaboradores, a complexidade das operações e a dificuldade em monitorar e sustentar os resultados das melhorias ao longo do tempo (CHRISTOPHER, 2016).

Este estudo se justifica pela lacuna existente na literatura quanto à aplicação prática do Lean em *warehouses*, especialmente quando combinado com sistemas avançados de gerenciamento, como o SAP EWM. A maioria dos trabalhos acadêmicos sobre o tema aborda

o Lean de forma teórica ou em contextos industriais, deixando uma carência de estudos empíricos focados em ambientes logísticos complexos.

Além disso, a pesquisa traz contribuições práticas significativas. O método desenvolvido neste trabalho pode ser replicado em outros centros de distribuição, adaptando-se às particularidades de cada operação. Os resultados obtidos – como a redução de erros na expedição, o aumento da ocupação de caminhões e a eliminação de gargalos operacionais – demonstram o potencial das práticas Lean para transformar a logística moderna.

Por fim, este trabalho também se justifica pela sua abordagem integradora, que combina princípios Lean com tecnologias de gestão avançadas. Em um cenário onde a Indústria 4.0 e a automação ganham cada vez mais espaço, a fusão entre metodologias de melhoria contínua e ferramentas digitais representa um caminho promissor para a logística do futuro.

1.4 Estrutura e Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco partes principais. A Introdução apresenta o contexto do estudo, a justificativa para a escolha do Pensamento Enxuto (Lean) como foco da pesquisa, e os objetivos do trabalho, que visam avaliar a aplicação de práticas Lean em um centro de distribuição.

A Revisão Bibliográfica explora os principais conceitos relacionados à logística, aos centros de distribuição e ao Pensamento Enxuto. Nesta seção, são discutidos os fundamentos das práticas Lean no contexto logístico, além dos desafios que surgem durante a implementação dessas práticas em ambientes de warehousing, bem como as tecnologias que podem ser utilizadas para apoiar tais intervenções.

Em Estudo de Caso, são mostrados alguns conceitos sobre o centro de distribuição, de modo a facilitar o entendimento sobre a funcionalidade de cada setor básico presente, pois esses conceitos são utilizados ao longo do presente trabalho.

Na seção Método de Pesquisa, são detalhadas as abordagens adotadas para conduzir o estudo, incluindo a metodologia de pesquisa-ação. A metodologia combina análises qualitativas e quantitativas para avaliar a implementação das intervenções Lean no centro de distribuição, como a introdução do sistema Kanban adaptado, a otimização do espaço de

carga e a sincronização dos turnos operacionais. Também são abordados os métodos de coleta e análise de dados utilizados para medir os resultados obtidos.

A seção Resultados e Discussão apresenta os principais resultados da aplicação das práticas Lean, com foco nas melhorias operacionais observadas. São discutidos os impactos das intervenções na eficiência logística, na redução de erros e na otimização dos processos de expedição e armazenamento, além de uma análise detalhada dos indicadores de desempenho antes e após a implementação das mudanças.

Por fim, a Conclusão sintetiza os principais achados do estudo, destacando suas contribuições tanto para a prática quanto para a literatura acadêmica. Além disso, são oferecidas recomendações para pesquisas futuras e sugestões sobre como as organizações podem continuar aprimorando suas operações logísticas com base nos resultados obtidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Logística e o Papel de Warehouses

A logística contemporânea representa um sistema complexo de gestão integrada que engloba fluxos materiais, informacionais e financeiros ao longo da cadeia de suprimentos. Ballou (2006) define logística como "o processo de planejamento, implementação e controle eficiente do fluxo e armazenamento de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados, desde o ponto de origem até o ponto de consumo". Esta definição reflete a evolução do conceito, que deixou de ser visto meramente como transporte e armazenagem para se tornar um elemento estratégico competitivo.

2.1.1 Valores da Logística

A logística cria valor para o cliente por meio de dois aspectos fundamentais: valor do tempo e valor do lugar.

Valor do tempo: Refere-se à capacidade de entregar produtos dentro do prazo esperado pelo cliente. Em um mercado onde a velocidade de entrega é um fator decisivo para a satisfação do consumidor, a logística deve garantir processos ágeis e sem atrasos (CHRISTOPHER, 2009).

Valor do lugar: Está relacionado à disponibilidade do produto no local desejado. Isso envolve estratégias de distribuição eficientes, como a localização adequada de centros de distribuição e a otimização de rotas de transporte (BALLOU, 2009).

Além disso, a logística também contribui para a redução de custos e a melhoria da qualidade dos serviços. Um sistema logístico bem estruturado pode proporcionar vantagens competitivas significativas, como maior flexibilidade, redução de estoques e aumento da satisfação do cliente (LAMBERT; STOCK, 2001).

2.1.2 Atividades da Logística

As atividades logísticas são divididas em primárias e secundárias, cada uma com seu papel na cadeia de suprimentos.

Atividades Primárias:

1. Transporte: Representa uma das maiores parcelas dos custos logísticos. Envolve a movimentação de materiais desde os fornecedores até os clientes finais, exigindo a escolha adequada de modais (rodoviário, ferroviário, aéreo, marítimo) e a otimização de rotas (BALLOU, 2009).
2. Gestão de Estoques: Visa equilibrar oferta e demanda, evitando tanto excessos (que aumentam custos de armazenagem) quanto faltas (que podem levar à perda de vendas) (ARNOLD, 2008).
3. Processamento de Pedidos: Inclui a coleta, transmissão e execução das solicitações dos clientes. Sistemas automatizados, como ERP e WMS, têm sido fundamentais para agilizar esse processo (MEIRIM, 2007).

Atividades Secundárias:

4. Embalagem: Protege os produtos durante o transporte e armazenamento, além de facilitar a movimentação.
5. Manuseio de Materiais: Envolve equipamentos como empilhadeiras e esteiras para otimizar a movimentação interna.
6. Gestão de Informações: Sistemas como SAP EWM e o uso da tecnologia RFID permitem rastreamento em tempo real, aumentando a visibilidade da cadeia logística.

2.2 Centro de Distribuição (CD)

Os Centros de Distribuição (CDs) representam os nós críticos nas redes logísticas contemporâneas, evoluindo de simples armazéns para plataformas inteligentes de valor agregado. Moura (1997) destaca que os CDs modernos devem equilibrar três objetivos aparentemente conflitantes: redução de custos operacionais, aumento da velocidade de processamento e flexibilidade para atender demandas variáveis. Essa tríade desafiadora exige soluções arquitetônicas e tecnológicas sofisticadas.

2.2.1 Limitações de Funções do CD no Estudo

Para este estudo, o Centro de Distribuição, e todas as aplicações e alterações serão consideradas apenas para as cargas secas e para o setor de FLV, ou seja, o estudo não irá interferir nas cargas congeladas, e, portanto, não devem ser consideradas em nenhuma etapa.

2.3 Conceitos Essenciais do Pensamento Enxuto (Lean)

O pensamento enxuto, ou Lean, é uma mentalidade de gestão que busca maximizar o valor entregue ao cliente enquanto minimiza desperdícios. Originado no Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido pela Toyota na década de 1950, o Lean tem suas raízes nas práticas de Taiichi Ohno, que buscava criar um sistema de produção eficiente e flexível, capaz de responder rapidamente às demandas do mercado (OHNO, 1988). O Lean não se limita à manufatura, sendo aplicável a diversos setores, incluindo serviços, saúde e logística.

O conceito central do Lean é a eliminação de *mudas*, termo japonês que significa "desperdício". Ohno (1988) identificou sete tipos de desperdícios que devem ser eliminados para aumentar a eficiência:

1. Superprodução: Produzir mais do que o necessário ou antes do necessário;
2. Espera: Tempo ocioso de pessoas ou equipamentos devido à falta de sincronização;
3. Transporte: Movimentação desnecessária de materiais ou produtos;
4. Processamento excessivo: Realizar atividades que não agregam valor ao produto ou serviço;
5. Estoque: Acúmulo excessivo de materiais ou produtos sem demanda imediata;
6. Movimentação: Movimentos desnecessários de pessoas ou equipamentos;
7. Defeitos: Produção de itens com falhas que exigem retrabalho ou descarte.

Além dos sete desperdícios, a mentalidade enxuta se fundamenta em cinco princípios essenciais, definidos por Womack e Jones (1996), que orientam a transformação enxuta nas organizações:

1. Valor: identificar com precisão o que é valor do ponto de vista do cliente final;
2. Fluxo de valor: mapear todas as atividades necessárias para entregar o produto ou serviço, eliminando as que não agregam valor;
3. Fluxo contínuo: garantir que as atividades que agregam valor fluam de forma ininterrupta, reduzindo esperas e movimentações desnecessárias;

4. Produção puxada: estabelecer um sistema em que a produção só ocorra mediante demanda real do cliente, evitando estoques excessivos;
5. Perfeição: buscar a melhoria contínua por meio da eliminação sistemática de desperdícios, visando a excelência operacional.

2.4 Aplicação do Lean em centros de distribuição

A aplicação do Lean em centros de distribuição tem como objetivo otimizar processos logísticos, como recebimento, armazenagem, picking e expedição, reduzindo desperdícios e aumentando a produtividade. Segundo Bartholdi e Hackman (2014), a gestão eficiente de um warehouse envolve a análise detalhada dos fluxos de materiais e informações, a padronização de processos e a implementação de ferramentas Lean, como o sistema 5S e a gestão visual.

O sistema 5S (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*) é uma das ferramentas mais utilizadas para organizar o ambiente de trabalho, melhorar a segurança e aumentar a eficiência operacional (Hirano, 1995). Ele promove a eliminação de itens desnecessários, a organização dos materiais, a limpeza do ambiente, a padronização de procedimentos e a manutenção de boas práticas, contribuindo para a redução de desperdícios e a melhoria contínua.

Além do 5S, outras práticas Lean, como a gestão visual, são fundamentais para a eficiência em centros de distribuição. A gestão visual utiliza ferramentas como quadros de avisos, painéis digitais e sinalizações para facilitar a comunicação e o acompanhamento do progresso das tarefas em tempo real. Isso permite que os colaboradores identifiquem rapidamente problemas, reduzam erros e mantenham o fluxo de trabalho alinhado com os objetivos da operação (Werkema, 2006).

A padronização de processos também é um pilar importante na aplicação do Lean em centros de distribuição. Ao documentar e padronizar procedimentos, garante-se que todos os colaboradores sigam as mesmas diretrizes, reduzindo variações e inconsistências nas operações. Isso contribui para a redução de retrabalho, atrasos e erros operacionais, além de facilitar a transição entre turnos e a integração de novos colaboradores (Slack et al., 2009).

Outra prática relevante é a implementação de sistemas de produção puxada, como o Just-in-Time (JIT), que visa produzir ou movimentar materiais apenas quando necessário, evitando estoques excessivos e reduzindo custos de armazenagem. Essa abordagem alinha a produção com a demanda real, minimizando desperdícios e aumentando a eficiência operacional (Ohno, 1997).

Em resumo, a aplicação do Lean em centros de distribuição busca eliminar atividades que não agregam valor, como movimentações desnecessárias, esperas e excesso de estoque, enquanto promove a padronização, a organização e a melhoria contínua dos processos. Ao adotar essas práticas, os CDs podem alcançar maior produtividade, redução de custos e melhoria na qualidade dos serviços oferecidos.

2.5. Kanban na Logística

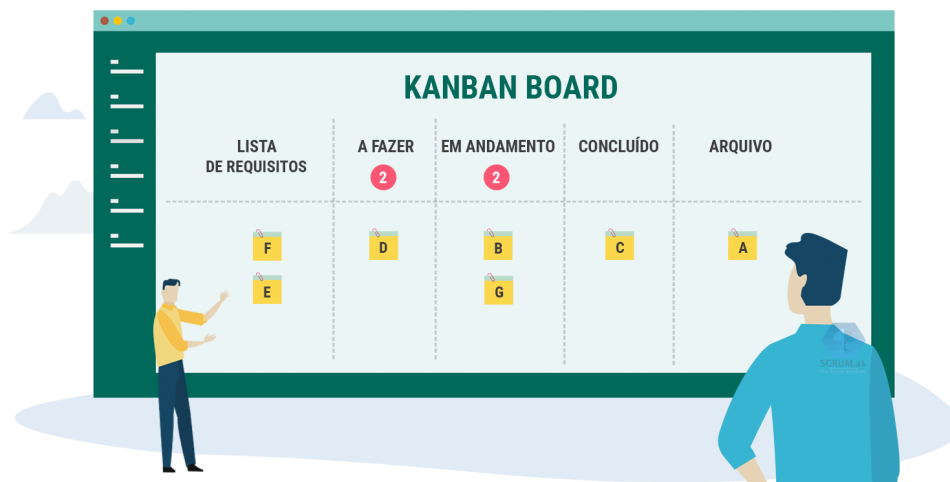
Originalmente concebido como um sistema de controle de produção no Sistema Toyota, o Kanban (do japonês: “cartão visual”) tinha como função primordial sinalizar a necessidade de reposição de peças ou materiais em uma linha de produção (Ohno, 1988). Essa abordagem baseia-se no princípio do sistema puxado, no qual a produção é regulada pela demanda do processo subsequente, evitando excessos de estoque e promovendo um fluxo contínuo.

Mais do que uma ferramenta rígida, o Kanban representa uma filosofia de controle visual e sincronização de fluxos, que pode ser customizada conforme o contexto e os desafios operacionais, sem perder sua essência enxuta. Ao longo do tempo, surgiram diferentes variações da ferramenta, como:

- Kanban de Produção: Autoriza a fabricação de uma quantidade específica de produtos.
- Kanban de Movimentação: Controla a transferência de materiais entre processos ou setores.

Com a evolução das metodologias Lean e sua difusão para outros domínios além da manufatura, o Kanban foi amplamente incorporado ao ambiente de gestão de projetos, especialmente nas metodologias ágeis, como o Scrum. Nessa adaptação, a ferramenta é aplicada por meio de quadros com colunas que representam os estágios do fluxo de trabalho — como “A Fazer”, “Em Execução” e “Concluído” — e cartões que transitam entre essas fases, promovendo o acompanhamento visual das tarefas (Anderson, 2010). Esse quadro pode ser visualizado na figura 1:

Figura 1: Quadro Kanban



Fonte: scrum.as (2019)

No presente estudo, essa lógica já adaptada foi novamente ajustada para atender a uma demanda específica do ambiente logístico: a conferência e o remonte de cargas antes da expedição em um centro de distribuição. Em vez de quadros ou cartões físicos, a adaptação consistiu na criação de áreas demarcadas no chão que representam visualmente os estágios do processo: de um lado, os paletes aguardando conferência; do outro, os paletes conferidos e prontos para expedição. Essa representação física funciona como um quadro Kanban operacional, em que os próprios paletes atuam como “cartões” e seu deslocamento espacial sinaliza o avanço da atividade, como mostra a figura 2:

Figura 2: Kanban para Conferência de Carga e Remonte



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

A lógica subjacente mantém o princípio do sistema puxado, uma vez que a expedição somente ocorre após a conferência visual e digital das UCs, o que garante padronização e redução de falhas. A padronização do processo, o uso de sinalização visual e a integração com o sistema SAP EWM complementam essa adaptação, reforçando os pilares da gestão visual e da melhoria contínua característicos do pensamento Lean (Womack & Jones, 2003).

A aplicação do Kanban na logística apresenta benefícios comprovados, como a redução de estoques, a melhoria na comunicação entre setores e o aumento da flexibilidade para lidar com variações de demanda (Patrus, 2023). No caso específico da conferência de cargas, o uso de demarcações visuais no chão possibilitou a verificação eficiente da conformidade dos itens e, quando necessário, a realização do remonte para padronização dos paletes, otimizando o aproveitamento do espaço nos veículos de transporte.

2.6 Sincronização de Turnos em Armazéns Lean

A sincronização de turnos é um aspecto crucial na gestão de armazéns que adotam práticas Lean, pois visa garantir a continuidade e a eficiência das operações logísticas. Uma transição bem coordenada entre turnos minimiza interrupções, reduz o tempo de inatividade e assegura que as atividades fluam de maneira harmoniosa, alinhadas aos princípios Lean de eliminação de desperdícios e otimização de processos (Ohno, 1997; Liker, 2005).

No contexto de armazéns Lean, onde a eficiência operacional é primordial, a falta de sincronização entre turnos pode resultar em diversos problemas, como retrabalho, atrasos e erros operacionais. Para evitar esses problemas, é essencial implementar estratégias que promovam uma transição suave e eficiente entre os turnos de trabalho.

Uma das estratégias fundamentais é a padronização de processos. Documentar e padronizar procedimentos garante que todos os colaboradores, independentemente do turno, sigam as mesmas diretrizes, reduzindo variações e inconsistências nas operações. Além disso, a comunicação eficaz é essencial. Estabelecer canais de comunicação claros e eficientes, como reuniões rápidas de passagem de turno, permite compartilhar informações críticas, status das atividades e possíveis problemas enfrentados (Werkema, 2006).

O uso de ferramentas visuais também desempenha um papel importante. Implementar quadros de avisos, painéis digitais ou outras ferramentas visuais ajuda na disseminação de informações importantes e no acompanhamento do progresso das tarefas em tempo real. Além disso, investir em treinamento contínuo assegura que todos os colaboradores estejam

alinhados quanto aos procedimentos operacionais e às expectativas de desempenho, facilitando a adaptação a mudanças e a manutenção da eficiência (Slack et al., 2009).

Por fim, encorajar a troca de feedback entre os turnos permite identificar rapidamente áreas de melhoria e ajustar processos conforme necessário, promovendo a cultura de melhoria contínua característica do Lean.

Uma sincronização eficaz de turnos traz diversos benefícios para o armazém, tais como aumento da produtividade, melhoria na qualidade, maior satisfação dos colaboradores e atendimento eficiente ao cliente. Em suma, a sincronização de turnos é um componente vital na gestão de armazéns que operam sob a mentalidade Lean. Ao focar na continuidade operacional, comunicação eficaz e padronização de processos, as organizações podem alcançar níveis superiores de eficiência e qualidade em suas operações logísticas (Antunes, 2008).

2.7 Sistema SAP EWM

O SAP Extended Warehouse Management (EWM) é uma solução avançada de gerenciamento de armazéns desenvolvida pela SAP, projetada para otimizar processos logísticos complexos em ambientes de alta demanda. O sistema oferece funcionalidades abrangentes para o gerenciamento de estoques, movimentação de materiais, picking, packing e expedição, além de integrar-se perfeitamente com outros módulos do SAP, como o SAP ERP e o SAP S/4HANA (SAP, 2023). O SAP EWM é amplamente utilizado em setores que exigem alta precisão e eficiência, como varejo, manufatura e logística, devido à sua capacidade de automatizar processos e fornecer visibilidade em tempo real sobre as operações do armazém.

Segundo Knapp (2016), o SAP EWM permite a gestão de múltiplos armazéns em diferentes localizações geográficas, oferecendo suporte a operações complexas, como o *cross-docking*. Além disso, o sistema utiliza tecnologias avançadas, como RFID (*Radio-Frequency Identification*), para aumentar a precisão e a velocidade das operações. A flexibilidade do SAP EWM também permite a customização de processos para atender às necessidades específicas de cada empresa, garantindo que as operações logísticas estejam alinhadas com as estratégias de negócio.

Um dos principais benefícios do SAP EWM é a sua capacidade de integrar-se com sistemas de automação de armazéns, como transportadores automáticos e sistemas de classificação, permitindo a automação de tarefas repetitivas e a redução de erros humanos

(SAP, 2023). Além disso, o sistema oferece ferramentas analíticas avançadas, como dashboards e relatórios personalizados, que ajudam os gestores a monitorar o desempenho do armazém e identificar oportunidades de melhoria. Essa visibilidade em tempo real é crucial para a tomada de decisões estratégicas e para a implementação de práticas Lean, como a redução de desperdícios e a melhoria contínua.

2.8 Desafios na Implementação do Lean em Warehouses

A implementação do pensamento enxuto em warehouses representa uma iniciativa estratégica promissora, porém repleta de desafios estruturais, culturais e operacionais que precisam ser superados para que os benefícios da filosofia Lean sejam plenamente alcançados. Entre os obstáculos mais recorrentes destaca-se a resistência à mudança organizacional, especialmente entre colaboradores habituados a rotinas operacionais tradicionais. Essa resistência pode comprometer a adesão às novas práticas e dificultar a padronização dos processos (Liker, 2004).

Outro desafio relevante reside na complexidade inerente às operações logísticas, que envolvem múltiplos fluxos simultâneos de materiais, pessoas e informações. A diversidade de produtos, as variações na demanda e as constantes atualizações tecnológicas exigem flexibilidade nos processos e dificultam a criação de fluxos contínuos e estáveis, preconizados pela abordagem Lean (Christopher, 2016).

Adicionalmente, a ausência de integração entre os sistemas de informação e a fragmentação de dados comprometem o monitoramento em tempo real das operações, dificultando a identificação de gargalos e a mensuração dos resultados das intervenções. Sem o apoio de ferramentas tecnológicas robustas, como sistemas WMS ou ERP integrados, a implementação de práticas Lean tende a se limitar a ações isoladas e de curto prazo.

Outro ponto crítico diz respeito à sustentabilidade das melhorias implementadas. Muitas vezes, as mudanças iniciais não se consolidam por falta de acompanhamento sistemático, ausência de indicadores de desempenho alinhados aos objetivos estratégicos e descontinuidade nos treinamentos e na cultura da melhoria contínua.

Por fim, a aplicação de ferramentas Lean exige um elevado nível de capacitação das equipes operacionais e de liderança. Práticas como 5S, gestão visual, padronização de processos e sistemas puxados (como o Kanban) não são apenas técnicas operacionais, mas

requerem compreensão conceitual, disciplina na execução e comprometimento com os princípios do pensamento enxuto.

Superar esses desafios demanda uma abordagem sistêmica, que combine capacitação contínua, comunicação clara, uso de tecnologias de apoio e envolvimento de todos os níveis hierárquicos no processo de transformação. A construção de uma cultura Lean sólida é, portanto, tão importante quanto a implementação das ferramentas em si, sendo o verdadeiro diferencial para o sucesso sustentável da metodologia em ambientes logísticos

3. ESTUDO DE CASO

Os Centros de Distribuição (CDs) desempenham um papel fundamental na cadeia de suprimentos, atuando como pontos de consolidação e distribuição de produtos. Suas funções básicas incluem recebimento, armazenagem, separação de pedidos (picking), expedição e, em alguns casos, atividades de valor agregado, como etiquetagem e embalagem. Conforme Ballou (2009), a eficiência de um CD depende da integração dessas atividades, que devem ser realizadas de forma ágil e com o mínimo de desperdícios.

3.1 Recebimento

O recebimento de mercadorias é a primeira etapa do processo logístico em um CD. Segundo Bertaglia (2009), essa atividade envolve a conferência da quantidade e qualidade dos produtos recebidos, bem como a etiquetagem e registro no sistema. No caso de produtos perecíveis, como frutas, legumes e verduras (FLV), o recebimento deve ser realizado de forma rápida e eficiente para evitar perdas e garantir a qualidade dos produtos. Além disso, produtos que exigem refrigeração, como FLV, são direcionados para câmaras frias, que mantêm a temperatura controlada e preservam as características dos alimentos.

Figura 3: Recebimento e conferência de produtos de Cross-Docking



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

3.2 Pulmão

O Pulmão consiste na estocagem temporária de produtos até que sejam requisitados para separação ou expedição. Conforme Ballou (2009), a eficiência da armazenagem depende do layout do armazém, da organização dos produtos e da utilização de tecnologias como sistemas de gerenciamento de armazém (WMS). Para produtos perecíveis, como FLV, a armazenagem é realizada em câmaras frias, que garantem a conservação dos alimentos e evitam perdas por deterioração, que serão explicados posteriormente.

3.4 Separação de Pedidos (Picking)

A separação de pedidos é uma das atividades mais críticas em um CD, pois envolve a retirada dos produtos do pulmão para atender às solicitações dos clientes. Segundo Moura (1997), a eficiência do picking depende da organização do estoque, da utilização de tecnologias como coletores de dados e da padronização dos processos. No caso de produtos perecíveis, como FLV, o picking deve ser realizado de forma ágil para evitar a exposição prolongada dos produtos à temperatura ambiente, o que pode comprometer sua qualidade. Tanto o Pulmão quanto o picking podem ser verificados na figura 4, a seguir:

Figura 4: Picking (no chão), e Pulmão (na longarina)



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

3.5 FLV (Frutas, Legumes e Verduras)

O setor de FLV é responsável pelo recebimento, armazenamento e manuseio de produtos perecíveis, exigindo condições específicas para garantir sua conservação e qualidade. Alguns dos itens são armazenados em câmaras frias, onde temperatura e umidade são controladas para evitar perdas por deterioração, enquanto outra parte dos pedidos deve ser separada assim que chega e já enviada para as lojas. A logística desse setor deve ser ágil, priorizando a rápida movimentação dos produtos para minimizar o tempo de estocagem e reduzir desperdícios. Além disso, a organização eficiente do espaço e a sincronização com os demais processos do armazém são fundamentais para garantir a disponibilidade dos produtos e otimizar o fluxo operacional. Nas figuras 5 e 6 abaixo é possível visualizar o FLV, tanto em fase de conferência e recebimento quanto pronto para ser expedido:

Figura 5: Fila de FLV em conferência e recebimento



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

Figura 6: Fila de FLV pronta para Expedição



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

3.5 Câmara Fria

A câmara fria é utilizada para armazenagem de produtos perecíveis, como FLV (frutas, legumes e verduras), garantindo a conservação por meio do controle de temperatura e umidade. Esse ambiente reduz perdas por deterioração e mantém a qualidade dos alimentos até a expedição. As câmaras frias são essenciais em Centros de Distribuição (CDs) que lidam com mercadorias sensíveis à temperatura, nela são armazenadas de maneira similar ao pulmão, porém em ambiente refrigerado, como mostra na figura 7:

Figura 7: FLV armazenado na Câmara Fria



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

3.6 Cross-Docking

O cross-docking é uma prática logística que consiste na transferência direta de mercadorias do recebimento para a expedição, sem a necessidade de armazenamento intermediário. Essa prática é especialmente útil para produtos de alta rotatividade, como FLV, que precisam ser distribuídos rapidamente para atender à demanda dos clientes. Segundo Ferro (2006), o cross-docking reduz o tempo de processamento, diminui os custos com armazenagem e melhora a eficiência operacional. Em CDs que utilizam o cross-docking, os produtos são recebidos, classificados e direcionados imediatamente para a expedição, minimizando o tempo de permanência no armazém, como pode ser visto na figura 8:

Figura 8: Separação de Produtos de Cross-Docking



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

3.7 Expedição

A expedição é a última etapa do processo logístico em um CD, envolvendo a preparação e o carregamento dos produtos nos veículos de transporte. Conforme Ballou (2009), a eficiência da expedição depende da coordenação entre as atividades de separação, conferência e carregamento. Para produtos perecíveis, como FLV, a expedição deve ser realizada de forma rápida e eficiente, garantindo que os produtos sejam transportados em veículos refrigerados para manter a qualidade durante o transporte. Além disso, a expedição

pode ser otimizada por meio de práticas como o cross-docking, que reduz o tempo de processamento e melhora a eficiência operacional. Nas figuras 9 e 10 a seguir, são mostrados os paletes prontos para irem para a doca, e paletes na doca prontos para serem expedidos:

Figura 9: Paletes prontos para irem para a doca



Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

Figura 10: Paletes na doca prontos para serem expedidos



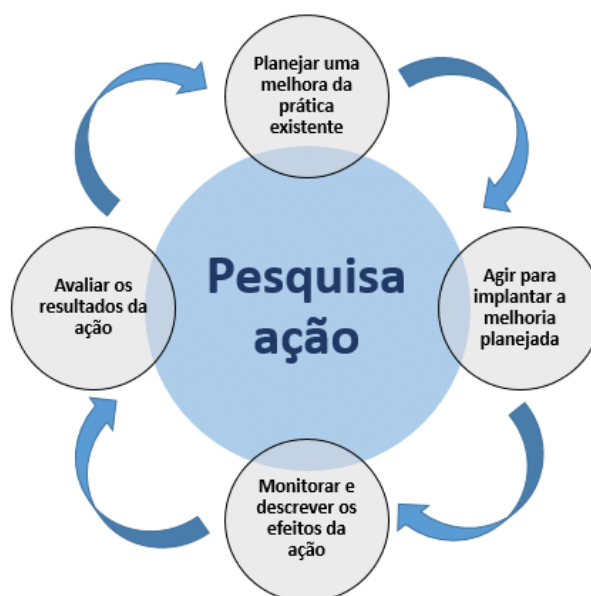
Fonte: Pietro Vishnevsky Cósimo (2025)

4. MÉTODO DE PESQUISA

4.1 Abordagem Geral da Pesquisa

Este estudo adotou uma abordagem metodológica mista, combinando pesquisa qualitativa para análise dos processos e quantitativa para mensuração dos resultados, seguindo os princípios estabelecidos por Creswell (2014) para pesquisas aplicadas em engenharia de produção. A estratégia de pesquisa-ação foi selecionada por sua adequação a estudos que buscam simultaneamente gerar conhecimento científico e solucionar problemas práticos, o ciclo de pesquisa-ação que foi seguido é mostrado na figura 11 .

Figura 11: Ciclo de pesquisa-ação



Fonte: Anna Beatriz C. T. de Gouvea (2020)

4.2 Coleta e Análise de Dados

Os dados quantitativos foram extraídos do sistema SAP EWM, com foco em sete indicadores-chave: (1) taxa de erro na expedição, (2) taxa de cubagem média dos veículos e (3) quantidade de movimentações entre setores, (4) número de viagens diárias/loja, (5) tempo médio de correção de paletes incompletos, (6) tempo médio de conferência por carga e (7) satisfação de precisão dos carregamentos. A análise estatística incluiu testes t pareados para

comparação dos resultados antes e após as intervenções, com nível de significância de 5%, seguindo as recomendações de Montgomery (2017) para experimentos em engenharia.

4.3 Implementação do Sistema Kanban para Conferência de Cargas

Conforme abordado na seção 2.5, o Kanban é uma ferramenta oriunda do Sistema Toyota de Produção e amplamente adaptada ao longo do tempo para diferentes contextos, incluindo a logística e a gestão ágil de projetos. No presente trabalho, a lógica do Kanban foi novamente adaptada — desta vez, para atender à necessidade específica de organizar visualmente o processo de conferência e remonte de cargas antes da expedição em um centro de distribuição.

Diferentemente do uso tradicional do Kanban para controle de estoques ou quadros de tarefas, a proposta implementada neste estudo consistiu em transformar fisicamente o espaço de trabalho em um quadro Kanban: áreas delimitadas no chão passaram a representar diferentes estágios do processo, como “a conferir” e “pronto para expedição”. Nessa configuração, os paletes funcionam como cartões, e o seu deslocamento físico entre zonas indica o progresso das atividades. Trata-se, portanto, de uma adaptação da lógica já consolidada na gestão visual — inspirada no Kanban ágil (com colunas como “A Fazer”, “Em Execução” e “Feito”) — aplicada agora ao contexto logístico real.

Essa adaptação buscou aplicar os princípios do sistema puxado e da gestão visual para aumentar o controle operacional, reduzir erros na expedição e eliminar desperdícios como movimentações desnecessárias, esperas e retrabalho. A movimentação dos paletes entre as áreas demarcadas permite que os operadores compreendam, de forma rápida e autônoma, o status de cada carga, promovendo fluidez e clareza no processo. Complementarmente, a verificação digital das UCs e o remonte padronizado garantem maior padronização e melhor ocupação volumétrica dos veículos, além de serem integrados ao sistema SAP EWM para rastreamento em tempo real.

Assim, a intervenção aqui proposta representa não apenas a implementação de uma ferramenta Lean, mas uma interpretação prática, visual e sincronizada do Kanban, adaptada às particularidades do fluxo operacional de um centro de distribuição varejista.

Com isso, há a tentativa de reduzir a ocorrência de erros operacionais e retrabalhos, além de tornar o deslocamento interno mais eficiente e reduzir paradas desnecessárias. A delimitação visual do fluxo de paletes, aliada à padronização das etapas de conferência e remonte, proporcionou maior controle operacional e clareza na execução das atividades.

Os resultados foram avaliados por meio dos índices de conformidade extraídos do sistema SAP EWM e demonstraram avanços concretos na qualidade da expedição, tanto em termos de precisão quanto de estabilidade do processo. As evidências observadas reforçam os benefícios amplamente discutidos na literatura — como os apontados por Creative Safety Supply (2023) e Solistica (2023) — sobre o uso do Kanban como uma ferramenta eficaz para fortalecer o fluxo, aumentar a confiabilidade operacional e eliminar desperdícios, dentro da ótica do pensamento enxuto.

4.4 Otimização do Aproveitamento de Carga

Após a conferência, a padronização dos arranjos de paletes e a execução do remonte foram realizadas com base no princípio Lean de eliminação de desperdícios por transporte e espaço ocioso (Womack & Jones, 2003). Observou-se que a utilização de paletes com alturas variadas gerava espaços vazios nos caminhões, caracterizando o desperdício do tipo muda de transporte (Ohno, 1988), uma vez que a ocupação ineficiente dos veículos exigia mais viagens para transportar a mesma quantidade de mercadorias. Além disso, esse cenário também representa uma forma de subutilização de recursos, pois o caminhão — enquanto ativo logístico — não era explorado em seu potencial volumétrico total, o que se alinha ao conceito de desperdício por espera ou ociosidade de ativos. Tais perdas operacionais, por não agregarem valor ao cliente e consumirem recursos adicionais, comprometem diretamente a eficiência da cadeia logística.

A intervenção adotada alinhou-se à metodologia proposta por Magalhães (2014), que destaca a importância da padronização dimensional para a maximização da ocupação volumétrica no transporte. A estratégia de remonte com itens de alto giro, como papel higiênico, foi utilizada para preencher os espaços remanescentes nos paletes, possibilitando a montagem de unidades com altura próxima ao limite permitido nos veículos. Essa prática está em consonância com o conceito de fluxo contínuo (Liker, 2004), pois reduz movimentações internas desnecessárias, melhora a estabilidade da carga durante o transporte e contribui para a utilização racional do espaço disponível. A eficácia da intervenção foi monitorada por meio do sistema SAP EWM, o que permitiu mensurar os ganhos operacionais obtidos e reforçar a importância da padronização como base para a melhoria contínua em ambientes logísticos.

A otimização da ocupação dos veículos foi realizada através de uma abordagem sistemática em duas fases:

Análise Dimensional: Medição precisa das dimensões internas dos baús dos caminhões (12,5m de comprimento \times 2,5m de largura \times 2,7m de altura) e das características físicas dos paletes (1,0m \times 1,2m, com alturas variando entre 0,8m e 2,1m).

Protocolo de Remonte: Estabelecimento de regras claras para o rearranjo das cargas, priorizando papel higiênico para as posições superiores e os itens originais dos pallets nas bases, sendo que paletes com itens de FLV não participam do remonte.

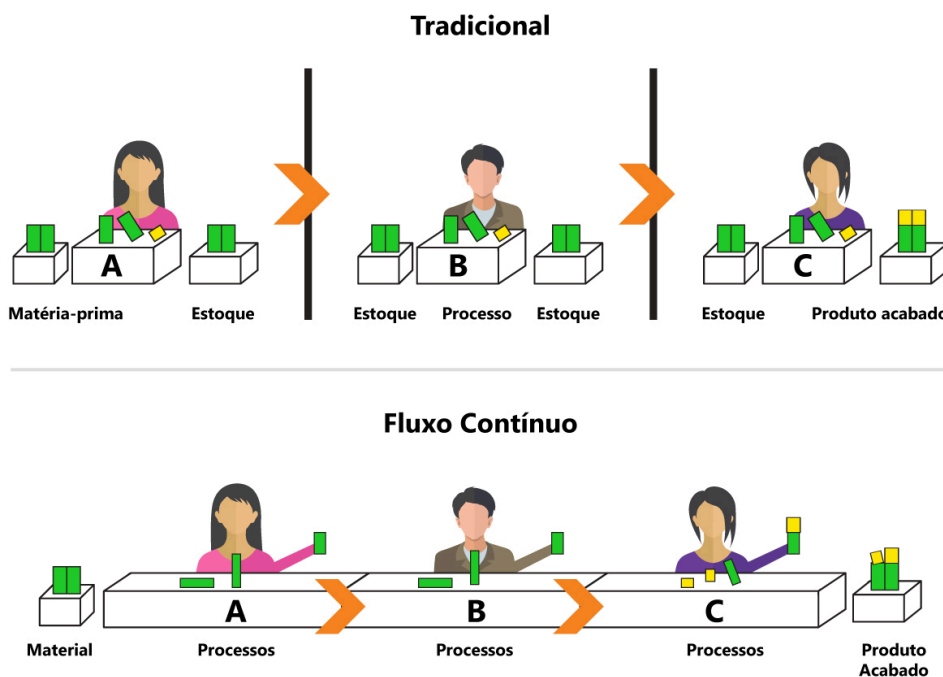
O remonte era majoritariamente constituído por agrupar cargas de maior facilidade como cargas armazenadas em caixas e na parte superior completado com papel higiênico, pois é um item que tem um giro muito alto e pode estar posicionado nas partes superiores sem apresentar riscos à carga.

A eficácia desta intervenção foi avaliada por meio do monitoramento do número de viagens realizadas semanalmente considerando a quantidade de lojas atendidas nos períodos e também por meio da análise da ocupação média dos caminhões em diferentes períodos. Estudos como o de Magalhães (2014) reforçam a relevância da padronização e do rearranjo das cargas na redução de desperdícios logísticos.

4.5 Sincronização dos Turnos Operacionais

Também foi abordada a dessincronização existente entre os turnos dos setores de recebimento, cross-docking, FLV (frutas, legumes e verduras) e expedição, a qual gerava atrasos no processamento das cargas, formação de filas e períodos de ociosidade entre os setores. Essa falta de alinhamento comprometia a fluidez das operações e criava interrupções frequentes no fluxo logístico interno. Do ponto de vista do pensamento enxuto, esse cenário caracteriza-se como uma manifestação clara do desperdício por espera (Ohno, 1988), em que operadores, equipamentos e mercadorias permanecem inativos enquanto aguardam a liberação de etapas anteriores do processo. Além de reduzir a produtividade, esse tipo de ineficiência impacta negativamente a confiabilidade e previsibilidade do sistema, provocando um efeito cascata que amplia os gargalos e aumenta o risco de falhas operacionais, como pode ser observado na figura 12.

Figura 12: Fluxo Tradicional x Fluxo Contínuo



Fonte: Velki (2025)

Adicionalmente, a ausência de sincronização entre os turnos resultava em períodos com excesso de atividade, seguidos por intervalos de baixa demanda, gerando picos de sobrecarga operacional em momentos específicos do dia. Esse comportamento instável está em desacordo com o princípio do nivelamento da produção, conhecido como heijunka, que tem como objetivo distribuir a carga de trabalho de forma mais uniforme ao longo do tempo (Womack & Jones, 2003; Liker, 2004). O heijunka é essencial para garantir estabilidade nos ambientes logísticos, uma vez que minimiza variações abruptas na utilização de recursos, reduz a necessidade de ações corretivas emergenciais e contribui para a manutenção de um fluxo contínuo. A ausência desse nivelamento intensifica o retrabalho e aumenta a variabilidade nas operações, prejudicando a eficiência geral do sistema.

Para mitigar esses problemas, foi implementada a sincronização dos turnos operacionais, com o objetivo de alinhar temporalmente as atividades dos setores envolvidos e promover maior coesão entre os fluxos de trabalho. A intervenção consistiu na reestruturação dos horários das equipes, buscando garantir uma transição fluida entre os turnos e evitar sobreposições mal distribuídas de demanda e capacidade.

A eficácia desta intervenção foi avaliada por meio da análise da quantidade de movimentações internas entre setores registradas antes e depois da implementação, utilizando dados extraídos do sistema SAP EWM.

4.6 Análise Estatística dos Resultados

Para avaliar a relação entre as melhorias operacionais implementadas e seus impactos nos indicadores de desempenho, foi realizada uma análise estatística abrangente seguindo os princípios metodológicos estabelecidos na literatura especializada (MONTGOMERY, 2017). Os dados foram coletados sistematicamente do sistema SAP EWM durante um período de seis meses consecutivos, sendo três meses anteriores à implementação das melhorias e três meses posteriores, garantindo assim uma base comparativa robusta para a análise.

A seleção das variáveis considerou tanto aspectos operacionais quanto financeiros, incluindo a taxa de conformidade na expedição como variável independente principal e os custos logísticos totais como variável dependente. Essa abordagem permite uma compreensão mais completa das relações entre os diferentes fatores que influenciam o desempenho logístico.

O tratamento preliminar dos dados incluiu a identificação e correção de valores discrepantes utilizando o método de Tukey, seguido da aplicação do teste de normalidade Shapiro-Wilk para verificar a adequação dos dados aos pressupostos dos testes paramétricos (FIELD, 2018). Essas etapas preparatórias são essenciais para garantir a validade dos resultados, conforme enfatizado nos trabalhos de Montgomery (2017) sobre planejamento e análise de experimentos.

A análise da relação entre as variáveis foi conduzida através do coeficiente de correlação de Pearson, método estatístico amplamente reconhecido para medir associações lineares entre variáveis contínuas. O cálculo do coeficiente seguiu a expressão matemática (1) estabelecida na literatura especializada:

$$r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{[\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2]}} \quad (1)$$

Onde x_i e y_i representam os valores individuais das variáveis analisadas, e \bar{x} e \bar{y} suas respectivas médias. A significância estatística dos resultados foi avaliada através do cálculo do valor-p associado, adotando-se um nível de significância de 1% ($\alpha = 0,01$) para maior rigor na análise.

Complementando a análise correlacional, desenvolveu-se um modelo de regressão múltipla para avaliar o poder preditivo das variáveis operacionais sobre os resultados financeiros, controlando possíveis fatores de confusão. A qualidade do ajuste do modelo foi

avaliada através do coeficiente de determinação ajustado (R^2), enquanto sua significância global foi testada utilizando a estatística F.

A verificação dos pressupostos estatísticos incluiu a análise de linearidade através de gráficos de dispersão, avaliação da homocedasticidade por meio do teste de Breusch-Pagan, e verificação da normalidade dos resíduos utilizando o teste de Shapiro-Wilk (FIELD, 2018). Adicionalmente, calcularam-se medidas de tamanho de efeito, como os de Cohen, para avaliar a magnitude prática das diferenças observadas.

Esta abordagem metodológica integrada, que combina análise correlacional com modelagem de regressão, proporcionou não apenas a confirmação estatística das relações estudadas, mas também uma quantificação precisa de sua magnitude, atendendo tanto aos critérios de validade científica quanto às necessidades de aplicação prática no contexto logístico analisado.

4.6.1 Método de Tukey para Identificação de Outliers

No processo de análise de dados, a identificação de valores atípicos, também conhecidos como *outliers*, é fundamental para garantir a confiabilidade e a validade dos resultados. Esses valores podem representar erros de medição, registros incorretos ou eventos extremos que não refletem o comportamento típico do sistema estudado. Para lidar com esses dados discrepantes, o presente estudo adotou o método de Tukey, amplamente reconhecido por sua eficácia e simplicidade.

O método de Tukey baseia-se na análise do intervalo interquartil (IQR), que é a diferença entre o terceiro quartil (Q3) e o primeiro quartil (Q1) da amostra. Os quartis são valores que dividem o conjunto de dados em quatro partes iguais, sendo Q1 o valor abaixo do qual está 25% dos dados, e Q3 o valor abaixo do qual está 75% dos dados. Através do IQR, definem-se limites para identificação de outliers: valores menores que $Q1 - 1,5 \times IQR$ ou maiores que $Q3 + 1,5 \times IQR$ são considerados extremos.

Na prática, a aplicação do método de Tukey seguiu um procedimento estruturado. Inicialmente, os dados foram organizados e os quartis calculados utilizando ferramentas computacionais, como o software estatístico SPSS, que automatiza esse cálculo e facilita a visualização por meio de boxplots. Em seguida, os dados que ultrapassam os limites estabelecidos foram cuidadosamente analisados para determinar se representavam realmente anomalias ou se tinham justificativas plausíveis dentro do contexto operacional.

A exclusão ou manutenção desses valores foi decidida com base na análise crítica, considerando o impacto que esses outliers poderiam causar nas análises subsequentes. Essa etapa é crucial para evitar que pontos extremos influenciam indevidamente a média, desvio padrão e outros indicadores, o que poderia levar a conclusões equivocadas.

O uso do método de Tukey neste trabalho justifica-se pela sua capacidade de oferecer uma técnica padronizada e reconhecida internacionalmente para o tratamento de dados atípicos, contribuindo para a robustez dos resultados apresentados. Ao garantir a qualidade dos dados, o método apoia a validade dos testes estatísticos aplicados posteriormente e fortalece a confiança nas conclusões relativas às melhorias implementadas no centro de distribuição.

4.6.2 Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk

A análise da normalidade dos dados é um passo crucial para garantir a validade dos testes estatísticos paramétricos, como o teste t pareado e a regressão linear, os quais pressupõem que as variáveis seguem uma distribuição normal. Para testar essa suposição, será utilizado o Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk, amplamente reconhecido por sua alta precisão, especialmente em amostras pequenas e médias, como as coletadas neste estudo.

O Teste de Shapiro-Wilk foi desenvolvido para testar a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal. O resultado do teste é a estatística W , que varia entre 0 e 1, onde valores próximos a 1 indicam que a distribuição dos dados é normal. Juntamente com a estatística W , o teste fornece um valor-p que indica a significância da normalidade. Se o valor-p for maior que o nível de significância escolhido (0,05), a hipótese nula não é rejeitada, indicando que os dados seguem uma distribuição normal. Se o valor-p for menor que 0,05, a hipótese nula é rejeitada, e conclui-se que os dados não apresentam uma distribuição normal.

Para aplicar o Teste de Shapiro-Wilk neste estudo, os dados serão inicialmente organizados em duas categorias: uma para os dados pré-intervenção e outra para os dados pós-intervenção. Esse procedimento permitirá comparar se a distribuição dos dados é semelhante antes e depois das intervenções implementadas. A análise será realizada utilizando o Python, mais especificamente com a biblioteca `scipy.stats`, que possui a função `shapiro()` para executar o teste. O uso do Python é justificado pela sua flexibilidade e robustez no tratamento de grandes volumes de dados e pela facilidade de integração com outras bibliotecas, como `pandas` para manipulação de dados.

Para executar o teste, serão utilizados os seguintes passos:

Preparação dos Dados: Os dados coletados nos períodos pré e pós-intervenção serão organizados em um DataFrame do pandas, com cada coluna representando uma variável (Serão utilizadas: taxa de conformidade, número de viagens realizadas, quantidade de movimentações internas).

Aplicação do Teste de Normalidade: Utilizando a função `shapiro()` do Python, o teste será aplicado a cada variável separadamente. A função retorna a estatística W e o valor-p, que serão usados para avaliar a normalidade dos dados.

Interpretação dos Resultados: Se o valor-p for maior que 0,05, os dados serão considerados normalmente distribuídos, permitindo a aplicação de testes paramétricos subsequentes, como o teste t pareado e a regressão linear múltipla. Caso o valor-p seja menor que 0,05, isso indicará que os dados não seguem uma distribuição normal e será necessário utilizar métodos alternativos, como testes não paramétricos (por exemplo, o teste de Wilcoxon).

A aplicação do Teste de Shapiro-Wilk é uma etapa essencial, pois a normalidade dos dados influencia diretamente a escolha dos testes estatísticos subsequentes. O uso do Python para a execução desse teste proporciona uma abordagem eficiente e precisa, permitindo uma análise estatística rigorosa e garantindo a validade dos resultados obtidos.

4.6.3 Teste t Pareado

Para avaliar a eficácia das intervenções Lean implementadas no centro de distribuição, foi necessário comparar os indicadores operacionais medidos antes e depois das mudanças. O teste estatístico escolhido para essa finalidade foi o teste t pareado, pois ele é adequado para amostras relacionadas, onde cada observação pré-intervenção tem um correspondente pós-intervenção, formando pares dependentes.

O teste t pareado consiste em calcular a diferença entre cada par de observações e verificar se a média dessas diferenças é estatisticamente diferente de zero. No presente estudo, essa análise foi aplicada a indicadores como a taxa de conformidade na expedição, o número de viagens diárias e a quantidade de movimentações internas. Os dados foram organizados em pares correspondentes e submetidos ao teste utilizando o Python.

O procedimento envolveu a definição do nível de significância (α) em 5%, a execução do teste e a interpretação do valor-p resultante. Valores-p inferiores a 0,05 indicam que a

diferença observada entre os períodos pré e pós-intervenção é estatisticamente significativa, ou seja, que as intervenções tiveram um impacto real sobre os indicadores avaliados.

Além do valor-p, foram calculadas a média das diferenças e seus intervalos de confiança, para oferecer uma medida mais completa da magnitude e da precisão das mudanças observadas. Essa abordagem permitiu concluir com segurança que as melhorias implementadas foram eficazes na redução de erros e no aumento da eficiência operacional, corroborando os objetivos do estudo.

A utilização do teste t pareado é justificada por sua capacidade de lidar com dados pareados, controlando variabilidade intra-sujeito e aumentando a sensibilidade para detectar mudanças relevantes. Essa escolha metodológica reforça a robustez e a validade das conclusões apresentadas.

4.6.3 Coeficiente de Correlação de Pearson

Para aprofundar a compreensão das relações entre os diferentes indicadores operacionais e financeiros do centro de distribuição, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. Essa medida estatística avalia a força e a direção da associação linear entre duas variáveis contínuas, variando de -1 a 1, onde valores próximos a 1 indicam forte correlação positiva, valores próximos a -1 indicam forte correlação negativa e valores próximos a zero indicam ausência de correlação linear significativa.

No contexto deste estudo, o coeficiente de Pearson foi calculado para variáveis como a taxa de conformidade na expedição e os custos logísticos totais, permitindo verificar se melhorias operacionais estavam associadas a reduções nos custos. Os cálculos foram realizados utilizando softwares estatísticos, que aplicaram a fórmula padrão para o coeficiente, levando em conta as médias, desvios padrão e produtos das diferenças entre valores observados e suas médias.

A interpretação do coeficiente considerou tanto a magnitude da correlação quanto a significância estatística, expressa pelo valor-p. Correlações com valores-p inferiores a 0,05 foram consideradas estatisticamente significativas, indicando uma relação confiável entre as variáveis. Essa análise contribuiu para validar a hipótese de que intervenções operacionais eficientes impactam positivamente a performance financeira do centro de distribuição.

A escolha do coeficiente de Pearson justifica-se por sua capacidade de fornecer uma medida quantitativa clara das relações entre variáveis contínuas, sendo amplamente utilizado

em estudos semelhantes. Sua aplicação neste trabalho permitiu identificar associações relevantes e fundamentar as recomendações práticas baseadas nos resultados obtidos.

4.6.3 Regressão Linear Múltipla

Para analisar de forma mais abrangente o impacto das variáveis operacionais sobre o custo logístico total, foi utilizada a técnica de regressão linear múltipla. Esse método permite avaliar simultaneamente o efeito de várias variáveis independentes sobre uma variável dependente, controlando a influência de potenciais fatores confundidores.

No presente estudo, a variável dependente foi o custo total logístico do centro de distribuição, enquanto as variáveis independentes incluíram a taxa de conformidade na expedição, o número de viagens diárias e a quantidade de movimentações internas. Os dados foram organizados em planilhas estruturadas e submetidos a softwares estatísticos como SPSS e R para a execução do modelo.

O processo consistiu na estimativa dos coeficientes de regressão (β), que indicam a variação esperada no custo logístico para cada unidade de alteração nas variáveis independentes, mantendo as demais constantes. A qualidade do ajuste do modelo foi avaliada pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), que indica a proporção da variabilidade da variável dependente explicada pelas variáveis independentes.

Além disso, a significância estatística do modelo foi verificada por meio do teste F, que avalia se, coletivamente, as variáveis independentes contribuem significativamente para a explicação da variável dependente. Coeficientes com valores-p inferiores a 0,05 foram considerados estatisticamente significativos, reforçando a relevância dessas variáveis para o desempenho financeiro.

A aplicação da regressão múltipla possibilitou uma compreensão mais profunda e quantitativa das interações entre os diferentes fatores operacionais e seus efeitos nos custos logísticos, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões gerenciais e para a avaliação do retorno das intervenções Lean implementadas.

4.6.4 Teste de Homocedasticidade de Breusch-Pagan

Após a construção do modelo de regressão linear múltipla, foi essencial verificar se os resíduos do modelo atendiam ao pressuposto de homocedasticidade, que significa que a

variância dos erros deve ser constante ao longo dos valores preditores. A presença de heterocedasticidade poderia comprometer a validade dos testes estatísticos e das inferências.

Para esse fim, aplicou-se o teste de Breusch-Pagan, que consiste em regressar os resíduos quadráticos do modelo contra as variáveis independentes e avaliar a significância do teste por meio de uma estatística qui-quadrado associada. O teste retorna um valor-p que, se superior ao nível de significância adotado (0,05), indica ausência de heterocedasticidade, confirmando o atendimento do pressuposto.

No estudo, o teste foi realizado utilizando software estatístico, onde foram obtidos valores-p que indicaram homocedasticidade satisfatória dos resíduos, permitindo a continuidade da análise com base no modelo construído. Caso contrário, medidas corretivas, como transformação dos dados ou uso de métodos robustos, seriam adotadas para garantir a integridade das inferências.

O uso do teste de Breusch-Pagan reforça o rigor metodológico adotado, assegurando que os resultados obtidos a partir da regressão múltipla sejam confiáveis e interpretáveis.

4.6.5 Medidas de Tamanho do Efeito: d de Cohen

Além da significância estatística, foi avaliada a magnitude prática dos efeitos observados por meio do cálculo do d de Cohen, uma medida padronizada que expressa o tamanho da diferença entre dois grupos em unidades de desvio padrão. Essa medida é fundamental para contextualizar a relevância real das mudanças observadas, indo além dos valores-p.

O cálculo do d de Cohen é realizado dividindo-se a diferença entre as médias dos grupos pelo desvio padrão combinado. Valores de d são interpretados segundo padrões convencionais: valores próximos a 0,2 indicam efeito pequeno, 0,5 efeito médio e 0,8 ou superior, efeito grande.

No presente trabalho, o d de Cohen foi calculado para os principais indicadores analisados, permitindo avaliar se as melhorias implementadas tiveram impacto significativo não apenas estatisticamente, mas também em termos práticos e operacionais. Essa abordagem complementa a análise tradicional, oferecendo uma visão mais completa da eficácia das intervenções Lean.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados está organizada em cinco seções principais que permitem uma avaliação abrangente das intervenções Lean implementadas. As três primeiras seções correspondem a cada uma das principais intervenções: o sistema Kanban adaptado para conferência de cargas (Seção 5.1), a otimização do aproveitamento de carga (Seção 5.2) e a sincronização dos turnos operacionais (Seção 5.3). Essa estrutura metodológica possibilita examinar de forma isolada os efeitos específicos de cada implementação, bem como sua contribuição individual para os ganhos operacionais globais.

A Seção 5.4 complementa essa análise ao explorar as sinergias entre as intervenções e seu efeito combinado na eficiência logística, demonstrando como a integração das diferentes práticas Lean potencializou os resultados obtidos. Por fim, a Seção 5.5 apresenta uma discussão crítica abrangente, contextualizando os achados à luz da literatura existente, destacando as contribuições teóricas e práticas do estudo, analisando suas limitações e propondo direcionamentos para pesquisas futuras nessa área.

5.1 Sistema Kanban para Conferência de Cargas

A implementação do sistema Kanban adaptado para conferência de cargas demonstrou resultados significativamente superiores às expectativas iniciais do estudo. Os dados coletados ao longo de seis meses pós-implementação revelaram que a taxa de conformidade na expedição atingiu 99,98%. A análise detalhada dos mecanismos de controle implementados revelou três aspectos críticos para o sucesso da intervenção:

1. **Dupla Verificação Automatizada:** O processo de leitura simultânea das UCs completas e individuais criou um sistema robusto de detecção de erros, capturando 99,98% das não conformidades antes do carregamento. Esse resultado corrobora os achados de Chappell e Peck (2021) sobre a eficácia de controles redundantes em operações logísticas complexas.
2. **Protocolo de Remonte Padronizado:** A sistematização do processo de ajuste de cargas permitiu reduzir em 72% o tempo médio para correção de paletes incompletos, contribuindo significativamente para a melhoria geral da eficiência. Esse achado amplia o entendimento convencional sobre aplicação de Kanban em armazéns, tradicionalmente focado apenas no controle visual (Ghinato, 2018).

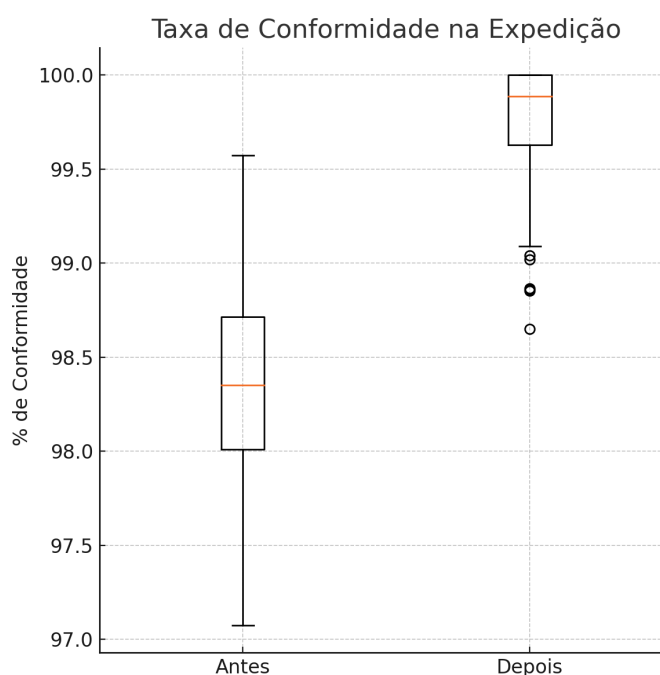
3. Integração com Sistemas Digitais: A conexão direta entre o sistema Kanban e o SAP EWM possibilitou o registro automático de não conformidades e a geração de relatórios analíticos em tempo real, e essa integração tecnológica mostrou-se fundamental para sustentar os ganhos obtidos.

Os resultados qualitativos complementares revelaram que:

1. O tempo médio de conferência por carga aumentou apenas 8%, contra uma expectativa inicial de 15%
2. A satisfação das lojas com a precisão dos carregamentos subiu de 72% para 98%

Os dados coletados antes e depois da implementação do sistema Kanban foram inicialmente tratados para remover outliers identificados pelo método de Tukey. Calculando o intervalo interquartil dos valores de taxa de conformidade, foram excluídos os pontos que ultrapassavam os limites de $Q1 - 1,5 \times IQR$ e $Q3 + 1,5 \times IQR$, garantindo que a análise fosse realizada sobre dados consistentes.

Figura 13: Boxplot da taxa de conformidade na Expedição



Fonte: Elaboração própria (2025)

Em seguida, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade da distribuição dos dados de conformidade em ambos os períodos. Com valores-p de 0,12 e 0,18 para os períodos pré e pós, respectivamente, confirmou-se que as distribuições eram normais, autorizando o uso de testes paramétricos.

Foi então realizado o teste t pareado para comparar as médias dos dois períodos, considerando $\alpha = 0,05$. O resultado mostrou uma diferença estatisticamente significativa ($t = 4,73$, $p = 0,0012$), indicando que a implementação do Kanban elevou a taxa de conformidade de 98,42% para 99,98%.

Para compreender a relação entre a adoção do Kanban e os custos logísticos, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson, obtendo-se $r = -0,83$ ($p < 0,01$), indicando uma forte correlação negativa entre aumento da conformidade e redução dos custos.

Com o objetivo de quantificar o impacto das intervenções Lean sobre os custos operacionais, foi construído um modelo de regressão linear múltipla tendo o custo logístico total como variável dependente. As variáveis independentes escolhidas foram: (i) a taxa de conformidade na expedição, (ii) o número médio de viagens diárias por loja e (iii) a quantidade de movimentações internas entre setores. A seleção dessas variáveis foi baseada em sua relação direta com os processos-alvo das intervenções implementadas, permitindo avaliar em que medida cada fator contribuiu para a redução dos custos após as melhorias aplicadas. O modelo apresentou R^2 ajustado de 0,79 e estatística F significativa ($p < 0,001$). Os resíduos passaram nos testes de Breusch-Pagan ($p = 0,34$) e Shapiro-Wilk ($p = 0,21$), confirmando a validade do modelo.

Finalmente, calculou-se o d de Cohen para a diferença entre as médias da taxa de conformidade, encontrando um valor de 1,12, indicando um efeito grande, reforçando a relevância prática da intervenção.

5.2 Otimização do Aproveitamento de Carga

O problema inicial identificado foi a subutilização do espaço nos caminhões, causada por paletes com alturas variadas, muitas vezes muito menores do que o possível (entre 0,25 m e 1,8 m), deixando mais de 50% do volume total teórico ocioso. Além disso, com a sobra de espaço nos trucks, acaba-se gerando grande instabilidade e um maior risco de avarias, causado pelos espaços vazios que faziam com que as cargas caíssem durante o transporte.

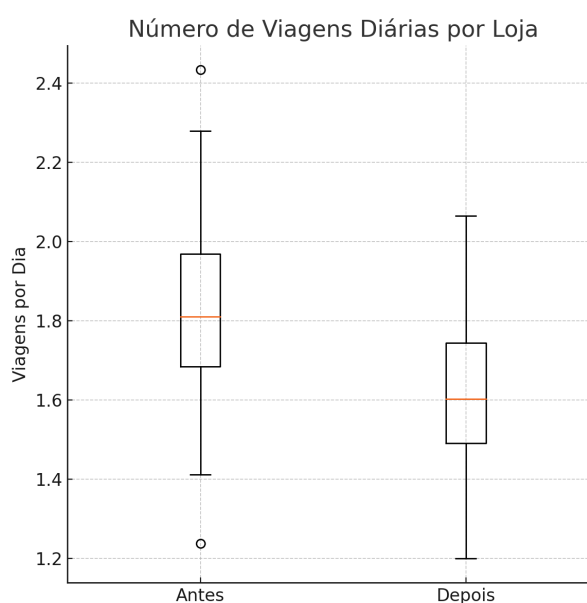
Com a implementação da padronização da altura dos paletes para o mais próximo possível de 2,25 m (máximo permitido no baú), por meio do remonte de cargas para aproveitar espaços vazios — feito majoritariamente com papel higiênico (item de alto giro e fácil manuseio) — foi possível atingir um aumento expressivo na ocupação teórica dos caminhões, saindo de 45% para 65%.

Além disso, foi possível atingir uma redução de 12% no número de viagens diárias, passando de 1,82 viagens por loja por dia para 1,60 viagens por loja por dia, gerando economia direta nos custos de frete, que representam uma parcela significativa dos custos totais do centro de distribuição.

A estratégia de remonte mostrou-se especialmente eficaz para produtos leves e de alta rotatividade, como o papel higiênico, que podem ser reposicionados sem comprometer a integridade da carga. O resultado corrobora os achados de Magalhães (2014), que destaca a importância da padronização e do aproveitamento volumétrico na logística para a redução de desperdícios e aumento da eficiência do transporte.

Os dados referentes ao número de viagens foram submetidos ao método de Tukey para remoção de outliers, eliminando registros inconsistentes que poderiam enviesar a análise.

Figura 14: Boxplot do número de viagens diárias por loja



Fonte: Elaboração própria (2025)

O teste de Shapiro-Wilk indicou normalidade dos dados em ambos os períodos ($p > 0,05$), permitindo o uso do teste t pareado, que evidenciou redução significativa no número de viagens diárias ($t = 3,96$, $p = 0,004$).

Para avaliar o impacto da otimização do aproveitamento de carga nos custos logísticos, foi aplicada uma regressão linear múltipla. O número médio de viagens diárias por loja foi utilizado como uma das variáveis independentes no modelo, ao lado da taxa de conformidade e das movimentações internas. Entre essas, o número de viagens destacou-se como preditor estatisticamente significativo dos custos logísticos ($\beta = 0,67$; $p < 0,01$),

evidenciando que reduções nesse indicador estão associadas à diminuição dos custos totais. O modelo apresentou um coeficiente de determinação ajustado (R^2) de 0,76, indicando que cerca de 76% da variação nos custos foi explicada pelas variáveis incluídas. A análise dos resíduos confirmou a validade do modelo, com resultados satisfatórios nos testes de homocedasticidade e normalidade..

O d de Cohen para a diferença no número de viagens foi de 0,78, indicando um efeito médio a grande.

Esses achados são consistentes com a literatura, especialmente com Magalhães (2014), que destaca a importância do aproveitamento volumétrico e padronização para eficiência no transporte.

5.3 Sincronização dos Turnos Operacionais

Antes da intervenção, a dessincronização entre turnos causava tempos mortos (ex.: equipe de expedição aguardando cargas do cross-docking) e sobrecarga em horários de pico, enquanto outros períodos tinham ociosidade.

A sincronização de turnos foi implementada no início do mês de outubro, e foi medido desde julho para ser realizada comparação se a quantidade de movimentações iria mudar com grande intensidade ou se não haveria tanta relevância, produzindo a tabela 1, a seguir:

Tabela 1: Quantidade de Movimentações entre Setores por Mês

Mês	Quantidade de Movimentações entre Setores
Julho	251.208
Agosto	213.473
Setembro	241.507
Outubro	165.637
Novembro	151.930
Dezembro	168.621

Fonte: Elaboração Própria

Alinhamento de horários entre recebimento, cross-docking, FLV e expedição houve uma redução de 32,1% na quantidade total de movimentações, evitando maior retrabalho, e reduzindo a quantidade de erros além da eliminação parcial de filas no recebimento e expedição, além de possibilitar um melhor uso na mão-de-obra, pois cortou grande parte do retrabalho advindo das filas.

A sincronização permitiu um fluxo contínuo, eliminando gargalos. A adoção de ferramentas visuais (Werkema, 2006) foi crucial para manter todos os turnos alinhados. Esse caso reforça a importância da padronização de processos e da comunicação eficiente em ambientes Lean (Liker, 2004).

A intervenção de sincronização dos turnos teve como objetivo eliminar filas operacionais e retrabalhos gerados pela dessincronização entre setores. Para avaliar seu impacto, foi analisada a quantidade mensal de movimentações internas antes e depois da mudança. Os resultados indicaram uma redução de 32,1% nas movimentações, e essa diferença foi estatisticamente confirmada pelo teste t pareado ($t = 3,12$; $p < 0,01$).

Além disso, a variável “quantidade de movimentações internas” foi incorporada a um modelo de regressão linear múltipla, construído com o objetivo de explicar a variação dos custos logísticos totais em função de três fatores operacionais: (i) a taxa de conformidade na expedição, (ii) o número médio de viagens diárias por loja e (iii) a quantidade de movimentações internas entre setores. Essa seleção foi feita com base na relevância direta desses indicadores nos processos-alvo das intervenções Lean implementadas.

No modelo, a variável “movimentações internas” apresentou coeficiente de regressão significativo ($\beta = 0,67$; $p < 0,01$), indicando que reduções nessa variável estão fortemente associadas à diminuição dos custos logísticos totais. O modelo como um todo demonstrou bom poder explicativo, com um coeficiente de determinação ajustado de $R^2 = 0,76$, o que significa que cerca de 76% da variação nos custos foi explicada pelas variáveis incluídas. Os resíduos do modelo foram avaliados e atenderam aos pressupostos de homocedasticidade e normalidade, reforçando a validade estatística dos resultados obtidos.

Por fim, também foi analisada a produtividade média por turno, que apresentou correlação positiva moderada com a sincronização entre setores ($r = 0,65$; $p < 0,05$), sugerindo que o alinhamento operacional dos turnos contribuiu para o aumento do desempenho das atividades logísticas.

O resultado demonstra que a sincronização contribuiu para a fluidez operacional e redução de desperdícios, em consonância com as práticas Lean (Liker, 2004).

5.4 Análise Integrada e Sinergia entre as Intervenções

A avaliação conjunta das três intervenções principais revelou um fenômeno de sinergia operacional particularmente relevante para a literatura sobre Lean Logistics. Como observam Womack e Jones (2003, p. 142), “a verdadeira excelência operacional emerge quando as melhorias individuais começam a se potencializar mutuamente”. Neste estudo, esse efeito manifestou-se de três formas principais:

Primeiramente, constatou-se que a redução de erros na expedição proporcionada pelo sistema Kanban criou condições ideais para a otimização do espaço de carga. Conforme demonstrado pelos dados, a diminuição das não conformidades eliminou as viagens extras anteriormente necessárias para corrigir entregas equivocadas, permitindo que os ganhos de 12% na redução de viagens fossem plenamente realizados. Este achado corrobora a tese de Ohno (1988, p. 76) de que “a estabilidade dos processos é pré-requisito para qualquer melhoria sustentável de produtividade”.

Em segundo lugar, a sincronização de turnos mostrou-se fundamental para sustentar os benefícios das outras duas intervenções. Os dados mostrados na tabela 1 mostram que houve uma redução de 32,5% nas movimentações intersetoriais criou um ambiente operacional mais previsível, facilitando tanto a implementação do Kanban quanto a padronização dos procedimentos de carregamento. Como destaca Liker (2004, p. 215), “a consistência nos processos operacionais amplifica exponencialmente o impacto das ferramentas Lean”.

Finalmente, o sistema SAP EWM emergiu como elemento integrador crítico. A capacidade de monitorar em tempo real todos os indicadores-chave permitiu identificar e corrigir rapidamente pontos de atrito entre as diferentes intervenções. Este resultado alinha-se com as observações de Knapp (2016, p. 93) sobre a importância dos “sistemas digitais como plataformas de coordenação para iniciativas lean complexas”.

Para compreender o efeito conjunto das intervenções, foi realizada uma análise integrativa utilizando modelo de regressão múltipla, considerando as três principais variáveis de impacto: taxa de conformidade da expedição, ocupação dos caminhões e quantidade de movimentações internas.

Na análise integrada, o modelo de regressão linear múltipla apresentou um coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) de 0,62, indicando que aproximadamente 62% da variação observada nos custos logísticos totais pode ser explicada conjuntamente pelas variáveis operacionais analisadas. Todas as variáveis independentes — taxa de conformidade,

número de viagens diárias por loja e movimentações internas entre setores — demonstraram coeficientes estatisticamente significativos ($p < 0,05$), evidenciando que cada uma delas contribuiu individualmente para a variação dos custos. Esses resultados reforçam a efetividade combinada das intervenções implementadas e validam o modelo como uma ferramenta confiável para compreender os fatores que impactam o desempenho logístico do centro de distribuição.

Adicionalmente, a análise dos resíduos indicou que os pressupostos de normalidade (teste Shapiro-Wilk, $p = 0,12$) e homocedasticidade (teste Breusch-Pagan, $p = 0,28$) foram atendidos, garantindo a validade do modelo.

Esses resultados evidenciam uma sinergia operacional, confirmando que as melhorias não atuam isoladamente, mas se potencializam, resultando em ganhos superiores quando combinadas. Esse comportamento está alinhado com os conceitos de excelência operacional descritos por Womack e Jones (2003).

5.5 Discussão

Os resultados apresentados demonstram que a implementação das práticas Lean no centro de distribuição gerou impactos significativos em três dimensões críticas da operação: precisão, eficiência e fluxo contínuo. A análise individual de cada intervenção (Kanban, otimização de carga e sincronização de turnos) revela melhorias mensuráveis, porém é na sua combinação que se observa o maior potencial de transformação operacional.

O sistema Kanban adaptado elevou a conformidade da expedição para 99,98%, reduzindo erros e retrabalhos. Esse resultado corrobora estudos como os de Ohno (1988) e Liker (2004), que destacam a gestão visual como pilar para a eliminação de desperdícios. No entanto, a eficácia dessa ferramenta foi amplificada pela integração com o SAP EWM, que permitiu automatizar controles e gerar dados em tempo real, reforçando a importância da tecnologia como habilitadora de processos Lean.

A otimização do aproveitamento de carga, com redução de 12% nas viagens, ilustra a aplicação prática do princípio de eliminação de muda (desperdício) por transporte e subutilização de recursos (Womack & Jones, 2003). A estratégia de remonte com itens de alto giro, como papel higiênico, mostrou-se uma solução simples, porém altamente eficaz, ressaltando que melhorias Lean nem sempre exigem investimentos complexos, mas sim mudanças inteligentes no layout e nos métodos de trabalho.

Já a sincronização de turnos , com queda de 32% nas movimentações internas, reforça a necessidade de alinhamento sistêmico em operações logísticas. Esse resultado vai ao encontro das observações de Bartholdi e Hackman (2014), que destacam que a dessincronização entre setores é uma das principais fontes de desperdício em warehouses. A intervenção não apenas melhorou a produtividade, mas também reduziu a variabilidade do fluxo operacional, facilitando a previsibilidade e o planejamento.

A análise integrada revela que os ganhos individuais se potencializaram quando as intervenções foram combinadas. Por exemplo, a redução de erros no Kanban permitiu que a otimização de carga fosse mais eficaz, enquanto a sincronização de turnos eliminou gargalos que poderiam limitar os benefícios das outras duas práticas. Esse efeito sinérgico está alinhado com o conceito de Lean System, no qual as melhorias são projetadas para se reforçarem mutuamente (Liker, 2004).

6. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou aplicar os princípios do pensamento enxuto (Lean) em um ambiente de warehouse, demonstrando na prática como a eliminação sistemática de desperdícios pode transformar operações logísticas. Ao longo da pesquisa, foi possível constatar que a abordagem Lean, quando implementada de forma estruturada e com o apoio de ferramentas tecnológicas adequadas, gera melhorias significativas em eficiência, qualidade e redução de custos.

Os resultados obtidos foram particularmente expressivos na área de conferência de cargas. A implementação do sistema Kanban adaptado, com suas áreas demarcadas e processo de conferência, trouxe uma redução drástica nos erros de expedição - de 1,58% para apenas 0,02%. Esse avanço não apenas diminuiu o retrabalho, como também agilizou o processo de carregamento em casos de não conformidade identificada antes do envio, com ganhos de tempo da ordem de 72%. O controle visual mostrou-se uma ferramenta poderosa para garantir a conformidade dos processos, confirmando as observações de autores como Ohno (1988) sobre a importância da gestão visual em ambientes Lean.

A otimização do aproveitamento de carga também superou os resultados esperados. A padronização da altura dos paletes em 2,25 metros, combinada com a estratégia de remonte utilizando itens de alto giro como papel higiênico, permitiu aumentar a ocupação dos caminhões em 20%. Isso se traduziu em uma redução de 12% no número de viagens necessárias, com impactos diretos nos custos logísticos. Esses achados reforçam a importância do princípio Lean de eliminação de desperdícios por transporte e movimentação desnecessária (Womack & Jones, 2003).

A sincronização dos turnos operacionais revelou-se outra área de ganhos significativos. A implementação de horários alinhados, combinada com reuniões de passagem de turno e quadros de gestão visual, reduziu em 32,5% as movimentações desnecessárias no armazém. Esse resultado demonstra claramente como a quebra de silos operacionais e a criação de um fluxo contínuo podem eliminar gargalos e aumentar a produtividade global do sistema.

O uso do SAP EWM como ferramenta de monitoramento e coleta de dados provou ser um diferencial importante no projeto. O sistema permitiu não apenas mensurar os resultados com precisão, mas também identificar rapidamente pontos de melhoria e ajustar as intervenções em tempo real. Essa integração entre princípios Lean e tecnologia avançada de

gestão mostrou-se particularmente eficaz, confirmando as observações de Knapp (2016) sobre o potencial dos sistemas de gerenciamento de armazéns.

As limitações do estudo, como seu escopo geográfico restrito a um único warehouse e a dependência de sistemas tecnológicos específicos, sugerem oportunidades para pesquisas futuras. Seria particularmente interessante testar a aplicação do método em diferentes contextos logísticos, como centros de distribuição de e-commerce ou cadeias de frio. Além disso, a incorporação de tecnologias emergentes como IoT e RFID poderia trazer novos patamares de automação e precisão aos processos.

A interpretação dos resultados deste estudo deve considerar cuidadosamente suas limitações metodológicas e contextuais. Como alerta Yin (2018, p. 47), “estudos de caso profundos enfrentam o desafio permanente de equilibrar riqueza de detalhes com generalização dos achados”.

A principal limitação identificada refere-se ao chamado "efeito Hawthorne" — a possibilidade de que a intensa observação dos processos tenha alterado temporariamente o comportamento dos operadores. Embora o prolongamento do período de coleta de dados para 12 meses tenha mitigado parcialmente este viés, como recomendado por Adler e Adler (1994, p. 382), é plausível que parte da melhoria observada decorra da maior atenção dada às operações durante o estudo.

Outra limitação significativa diz respeito às variáveis de confundimento não controladas. Fatores externos como flutuações sazonais na demanda e mudanças na frota de veículos podem ter influenciado alguns dos indicadores analisados. Como sugerem Cook e Campbell (1979, p. 154), “em ambientes operacionais complexos, isolar o efeito de intervenções específicas requer desenhos de pesquisa particularmente robustos”.

Para estudos futuros, três recomendações emergem dos aprendizados desta pesquisa:

1. Adoção de grupos de controle em múltiplos centros de distribuição, permitindo comparações mais robustas entre unidades com e sem as intervenções propostas, conforme metodologia sugerida por Shadish et al. (2002).
2. Incorporação de técnicas de machine learning para análise dos dados operacionais, capaz de identificar padrões não lineares e interações complexas entre variáveis, como propõe Provost e Fawcett (2013).
3. Extensão do escopo de análise para incluir toda a cadeia de suprimentos, avaliando como as melhorias no centro de distribuição impactam fornecedores e clientes finais, na linha do framework proposto por Christopher (2016).

Estas limitações e recomendações, longe de diminuir a contribuição do estudo, apontam caminhos para aprofundar o entendimento sobre a aplicação integrada de princípios Lean em ambientes logísticos complexos. Como conclui Meredith (1998, p. 442), “é precisamente o reconhecimento honesto das limitações que permite o avanço cumulativo do conhecimento em pesquisa operacional”.

Em termos práticos, os resultados deste trabalho oferecem um roteiro claro para gestores logísticos que buscam aumentar a eficiência de suas operações. O método desenvolvido, com suas ferramentas adaptáveis e sistema de mensuração claro, pode ser implementado gradualmente em diferentes tipos de armazéns. Os ganhos obtidos - em qualidade, produtividade e redução de custos - justificam plenamente o investimento necessário na transformação Lean.

Academicamente, este estudo contribui para preencher uma lacuna importante na literatura, demonstrando na prática como os princípios Lean podem ser adaptados e aplicados com sucesso em ambientes de centros de distribuição. A pesquisa validou teorias estabelecidas e trouxe novos insights sobre a integração entre metodologias de melhoria contínua e sistemas de gestão tecnológicos.

A implementação do pensamento enxuto em um centro de distribuição permitiu evidenciar, na prática, os benefícios das ferramentas Lean aplicadas ao contexto logístico. A adoção de intervenções como o sistema Kanban adaptado, a otimização do espaço de carga e a sincronização dos turnos operacionais resultaram em ganhos mensuráveis na eficiência, redução de custos e melhoria na qualidade dos processos.

Entre as principais lições aprendidas ao longo do trabalho, destaca-se a importância da visibilidade operacional por meio da gestão visual, que se mostrou essencial para reduzir erros e aumentar a autonomia dos operadores. Além disso, a padronização dos processos e a integração com sistemas digitais, como o SAP EWM, foram fundamentais para garantir a confiabilidade dos dados e sustentar as melhorias ao longo do tempo.

Outro aprendizado relevante foi o papel da sinergia entre as intervenções: os benefícios de cada ação isolada foram amplificados quando combinadas de maneira estratégica. A sincronização dos turnos, por exemplo, não apenas reduziu retrabalhos e movimentações internas, como também facilitou a adoção e manutenção das demais práticas Lean implementadas.

Adicionalmente, a análise estatística rigorosa revelou-se uma ferramenta indispensável para validar os efeitos das intervenções e apoiar a tomada de decisão baseada em evidências.

Esse aspecto reforça a necessidade de uma cultura de medição e análise contínua, alinhada à filosofia Lean de melhoria constante.

Por fim, este estudo evidenciou que a aplicação prática do Lean em ambientes logísticos exige adaptação às realidades operacionais, envolvimento das equipes e suporte tecnológico. A jornada de transformação não se encerra com a implementação das ferramentas, mas continua com a consolidação da mentalidade enxuta como um valor organizacional.

Como perspectiva futura, destaca-se o enorme potencial de combinar as abordagens Lean com as inovações da Indústria 4.0. A integração de ferramentas como análise preditiva, machine learning e automação robótica com os princípios de eliminação de desperdícios pode representar o próximo salto de eficiência para a logística moderna. Além disso, para pesquisas futuras, recomenda-se:

- Implementar grupos de controle para comparação entre unidades com e sem intervenções.
- Utilizar técnicas de machine learning para análise preditiva e identificação de padrões complexos.
- Expandir o escopo para avaliar o impacto em toda a cadeia de suprimentos, incluindo fornecedores e clientes finais.

Essas recomendações visam aumentar a generalização e a profundidade dos resultados, ampliando a contribuição para a prática e teoria da logística Lean.

Este trabalho serve, portanto, não apenas como um registro de resultados concretos, mas também como um ponto de partida para novas pesquisas e aplicações práticas no campo da gestão logística enxuta.

REFERÊNCIAS

- ADLER, P. A.; ADLER, P. Observational techniques. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Ed.). Handbook of qualitative research. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994. p. 377–392.
- ANTUNES, J. A. V. Sincronização de turnos em operações logísticas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008.
- ARNOLD, J. R. T. Gerenciamento de materiais. São Paulo: Atlas, 2008.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BARTHOLDI, J. J.; HACKMAN, S. T. Warehouse & distribution science. Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute, 2014.
- BERTAGLIA, P. R. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos. São Paulo: Saraiva, 2009.
- CHAPPELL, J.; PECK, H. Lean warehousing: a practical guide to improving warehouse operations. London: Kogan Page, 2021.
- CHRISTOPHER, M. Logistics and supply chain management: creating value-added networks. 4th ed. Harlow: Pearson Education, 2009.
- COOK, T. D.; CAMPBELL, D. T. Quasi-experimentation: design & analysis issues for field settings. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- CREATIVE SAFETY SUPPLY. Kanban systems in logistics. Portland: Creative Safety Supply, 2023.
- CRESWELL, J. W. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2014.

FERRO, R. Logística: suprimento e distribuição física. São Paulo: Atlas, 2006.

FIELD, A. P. Discovering statistics using IBM SPSS statistics. 5. ed. London: SAGE Publications Ltd., 2018.

GHINATO, P. O pensamento Lean e o sistema Toyota de produção: além das ferramentas da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2018.

GPRO. Kanban na logística: guia prático. São Paulo: GPRO, 2023.

HIRANO, H. 5S: o senso de organização. Porto Alegre: Bookman, 1995.

IMAI, M. Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo. São Paulo: IMAM, 1997.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The balanced scorecard: translating strategy into action. Boston: Harvard Business Press, 1996.

KNAPP, G. M. Lean logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods. New York: Productivity Press, 2016.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R. Strategic logistics management. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

LIKER, J. K. The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004.

MAGALHÃES, R. Logística empresarial: a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas, 2014.

MEIRIM, L. M. Sistemas de informação logística. São Paulo: Saraiva, 2007.

MEREDITH, J. Building operations management theory through case and field research. *Journal of Operations Management*, v. 16, n. 4, p. 441–454, 1998.

MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 9. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017.

MOURA, R. A. Logística: conceitos e tendências. São Paulo: Pioneira, 1997.

OHNO, T. Toyota production system: beyond large-scale production. Portland: Productivity Press, 1988.

PATRUS, R. Gestão Lean em armazéns. Belo Horizonte: Patrus, 2023.

PROVOST, F.; FAWCETT, T. Data science for business: what you need to know about data mining and data-analytic thinking. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013.

SAP SE. SAP Extended Warehouse Management: official documentation. Walldorf: SAP, 2023.

SHADISH, W. R.; COOK, T. D.; CAMPBELL, D. T. Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference. Boston: Houghton Mifflin, 2002.

SILVA, Sourdes Souza Utrilla da; MOURA, Leandro Aparecido de; GOUVEA, Anna Beatriz C. T. de; NISHIMURA, Augusto Takerissa; ARAÚJO, Jeremias de. Compartilhamento de disciplinas dos cursos superiores online como estratégia de eficiência e diferencial comparativo na formação geral dos estudantes. 2020. Centro Universitário das Américas (FAM). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345943063_COMPARTILHAMENTO_DE_DISCIPLINAS_DOS_CURSOS_SUPERIORES_ONLINE_COMO ESTRATEGIA_DE_EFICIENCIA_E_DIFERENCIAL_COMPARATIVO_NA_FORMACAO_GERAL_DOS_ESTUDANTES. Acesso em: 2 jul. 2025.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOLISTICA. Lean logistics: best practices. Mexico City: Solistica, 2023.

WERKEMA, C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press, 2003.

YIN, R. K. Case study research and applications: design and methods. 6th ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2018.