

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**RENAN MORAIS DA CRUZ**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE MANUFATURA ENXUTO PARA  
AMBIENTES ENGINEER-TO-ORDER (ETO)**

**BENTO GONÇALVES**

**2025**

**RENAN MORAIS DA CRUZ**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE MANUFATURA ENXUTO PARA  
AMBIENTES ENGINEER-TO-ORDER (ETO)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Gabriel Vidor

**BENTO GONÇALVES**

**2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

C957d Cruz, Renan Morais da

Desenvolvimento de um processo de manufatura enxuto para ambientes Engineer-to-Order (ETO) [recurso eletrônico] / Renan Morais da Cruz. – 2025.

Dados eletrônicos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2025.

Orientação: Gabriel Vidor.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Engenharia de produção. 2. Processos de fabricação. 3. Planejamento da produção. 4. Logística empresarial. I. Vidor, Gabriel, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 658.5

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)  
Ana Guimarães Pereira - CRB 10/1460

**RENAN MORAIS DA CRUZ**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE MANUFATURA ENXUTO PARA  
AMBIENTES ENGINEER-TO-ORDER (ETO)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

**Aprovado em 18/12/2025**

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Gabriel Vidor  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Roberto Birch Gonçalves  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dra. Janine Fleith de Medeiros  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Evandro José Krewer  
Faculdade da Serra Gaúcha

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento em primeiro lugar, agradeço a Deus por me conceder a oportunidade, a força e a clareza necessárias para realizar o sonho de tornar-me Mestre na área em que atuo. Sinto-me honrado por poder contribuir de forma acadêmica com a Engenharia de Produção, unindo prática e conhecimento ao longo desta jornada.

Agradeço profundamente à minha mãe, Maria Aparecida Morais da Cruz, e ao meu pai, Valdir Jesus da Cruz, que sempre me incentivaram a estudar e a nunca desistir dos meus objetivos. Foram eles que me ensinaram a buscar aperfeiçoamento contínuo — não para ser o melhor, mas para estar entre os melhores e construir meu próprio caminho com coragem e humildade. Agradeço também ao meu irmão, Higor Morais da Cruz, pela presença constante, pelo companheirismo e pela amizade que sempre me fortaleceram.

À minha esposa, Francielle Zecchin Conculatto, deixo minha gratidão por caminhar ao meu lado com paciência, incentivo e apoio em todos os momentos desta trajetória. Da mesma forma, agradeço à minha filha, Heloísa Zecchin da Cruz, pela compreensão nos dias em que precisei me ausentar para dedicar-me às aulas, aos estudos e aos trabalhos do mestrado. Vocês duas são minha base, minha motivação e meu maior orgulho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gabriel Vidor, agradeço pelo apoio, disponibilidade e orientação comprometida. Sua visão, suas sugestões e sua confiança contribuíram decisivamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à banca examinadora pela leitura atenta, pelas contribuições e pelo comprometimento com a excelência acadêmica. Suas observações tornaram esta pesquisa mais consistente e completa.

À empresa estudada, deixo meu reconhecimento pela oportunidade de crescimento profissional, pela confiança no meu trabalho e pela liberdade que sempre tive para desenvolver melhorias e integrar prática e academia dentro da organização.

Por fim, agradeço aos meus colegas de trabalho, que contribuíram direta ou indiretamente com apoio, dados, sugestões e incentivo ao longo deste percurso. Cada gesto de colaboração fez diferença para que este projeto fosse concluído.

*“Uma mente que se abre a uma nova ideia  
jamais volta ao seu tamanho original”.*

Albert Einstein

## RESUMO

A competitividade crescente nos ambientes industriais, especialmente naqueles que operam sob a lógica Engineer-to-order (ETO), exige que as empresas desenvolvam processos de manufatura capazes de lidar com elevada variabilidade, forte integração entre áreas e alta dependência de coordenação operacional. Nesse contexto, esta dissertação teve como objetivo desenvolver um processo de manufatura integrando conceitos e práticas enxutas em ambientes de alta customização, por meio da aplicação do método de pesquisa-ação em uma empresa do setor de bens de capital. Como base conceitual e prática, foram utilizados o Mecanismo da Função Produção (MFP) e o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM), aplicados em um setor piloto da manufatura — a solda. Os objetivos específicos consistiram em identificar perdas e desperdícios prevalentes em ambientes de alta customização, analisar o papel de tecnologias avançadas nos fluxos produtivos e mapear o fluxo de produção da empresa, identificando suas inter-relações e oportunidades de melhoria. A aplicação do método possibilitou a visualização sistêmica do fluxo produtivo e das interfaces entre engenharia, Planejamento e Controle da Produção (PCP) e manufatura, evidenciando problemas como ausência de padronização, elevados níveis de Work-in-Process (WIP) e baixa previsibilidade operacional. A partir do diagnóstico, foram estruturadas e implementadas ações de melhoria em escala piloto, resultando em avanços na priorização das ordens, na redução de atravessamentos e no alinhamento entre planejamento e execução. Os resultados demonstram que o desenvolvimento de um processo de manufatura orientado ao fluxo e sustentado por práticas enxutas contribui significativamente para a melhoria do desempenho operacional em ambientes ETO, apoiando a tomada de decisão gerencial, a padronização dos processos e o fortalecimento da integração entre áreas.

**Palavras-chave:** Engineer-to-Order; Fluxo de Produção; Mapeamento de Fluxo de Valor; Mecanismo da Função Produção; Planejamento e Controle da Produção.

## ABSTRACT

The increasing competitiveness of industrial environments, especially those operating under the Engineer-to-order (ETO) logic, requires companies to develop manufacturing processes capable of dealing with high variability, strong cross-functional integration, and a high level of operational coordination. In this context, this dissertation aimed to develop a manufacturing process by integrating lean concepts and practices in high-customization environments, through the application of the action research method in a capital goods manufacturing company. The Production Function Mechanism (PFM) and Value Stream Mapping (VSM) were adopted as conceptual and practical foundations and applied to a pilot manufacturing sector — welding. The specific objectives were to identify prevalent losses and waste in high-customization environments, analyze the role of advanced technologies in production flows, and map the company's production flow, identifying its interrelationships and opportunities for improvement. The application of the method enabled a systemic visualization of the production flow and the interfaces between engineering, Production Planning and Control (PPC), and manufacturing, highlighting issues such as lack of standardization, high levels of Work-in-Process (WIP), and low operational predictability. Based on the diagnosis, improvement actions were structured and implemented on a pilot scale, resulting in advances in order prioritization, lead time reduction, and improved alignment between planning and execution. The results demonstrate that the development of a flow-oriented manufacturing process supported by lean practices significantly contributes to improved operational performance in ETO environments, supporting managerial decision-making, process standardization, and strengthened cross-functional integration.

**Keywords:** Engineer-to-Order; Production Flow; Value Stream Mapping; Production Function Mechanism; Production Planning and Control.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do fluxo de produção Just-in-Time. ....	12
Figura 2 – Linha do tempo das revoluções industriais. ....	13
Figura 3 – Exemplo de Mapeamento de Fluxo de Valor.....	26
Figura 4 – Exemplo: Loop Do estado Futuro. ....	26
Figura 5 – O Sistema Toyota de Produção. ....	30
Figura 6 – Sistemas Produtivos: Variedade X Volume. ....	31
Figura 7 – Ciclo da Pesquisa-ação.....	36
Figura 8 – Prateleiras de alocação de Itens. ....	50
Figura 9 – Mapa VSM.....	51
Figura 10 – Prateleira de Alocação de Itens com endereçamento.....	54
Figura 11 – Modelo de Etiqueta para leitura dos Locais. ....	55
Figura 12 – Tempo e quantidade disponível para operação. ....	56
Figura 13 – Todo material em processamento, mas não disponível para solda .....	56

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Classificação das atividades no processo produtivo.....	22
Tabela 2 – Ações implementadas e resultados esperados .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
APS	Advanced Planning and Scheduling
ATO	Assemble-to-Order
ERP	Enterprise Resource Planning
ETO	Engineer-to-Order
IoT	Internet of Things
JIT	Just-in-Time
MFP	Mecanismo da Função Produção
MTO	Make-to-Order
MTS	Make-to-Stock
PCP	Planejamento e Controle da Produção
TPS	Toyota Production System
UCS	Universidade de Caxias do Sul
VSM	Value Stream Mapping
WIP	Work in Process

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
1.2	JUSTIFICATIVA .....	16
<b>1.2.1</b>	<b>Justificativa teórica.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Justificativa prática .....</b>	<b>19</b>
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA .....	20
1.4	OBJETIVOS .....	20
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>20</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
2.1	MECANISMO DA FUNÇÃO PRODUÇÃO (MFP).....	22
2.2	MAPEAMENTO DA CADEIA DE VALOR .....	25
2.3	ESTRATÉGIAS DE MANUFATURA: MODELOS MTS, ATO, MTO E ETO .....	28
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	32
<b>3</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>35</b>
3.1	MÉTODO DE PESQUISA.....	35
<b>3.1.1</b>	<b>Diagnóstico da situação atual .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Planejamento das ações de melhoria.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Implementação das ações de melhoria.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Monitoramento e coleta de dados.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Avaliação crítica e reflexão .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Redefinição e sistematização das práticas .....</b>	<b>40</b>
3.2	MODELO DE TRABALHO APLICADO NA EMPRESA.....	41
<b>3.2.1</b>	<b>Contextualização da empresa .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Diagnóstico funcional do fluxo de produção .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Objetivos e diretrizes da intervenção com MFP .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Aplicação prática: Etapas da intervenção .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Considerações finais do modelo aplicado .....</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>50</b>

4.1	DESCRIÇÃO E ANÁLISE .....	50
4.1.1	<b>Situação atual do setor de solda .....</b>	<b>50</b>
4.1.2	<b>Aplicação das melhorias no setor de solda .....</b>	<b>52</b>
4.2	DISCUSSÃO .....	57
4.3	IMPLICAÇÕES GERENCIAIS .....	60
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

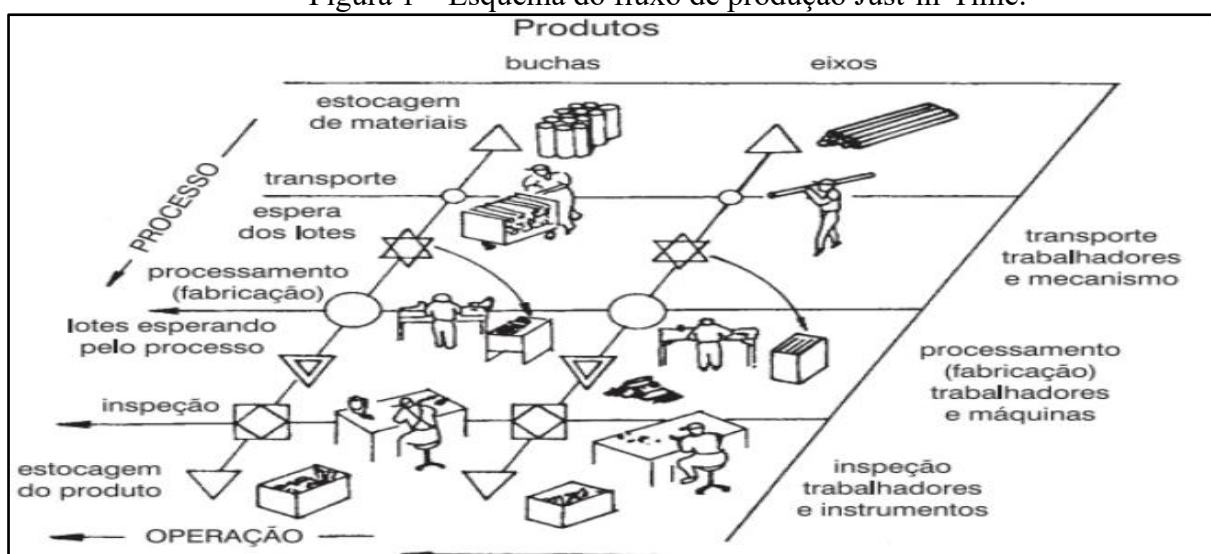
## 1 INTRODUÇÃO

As empresas brasileiras procuram obter processos organizados em suas produções. Contudo, a alta variabilidade de produtos demandadas pelo mercado, somada à constante transformação e ao ambiente competitivo, cada vez mais exigente quanto aos prazos de entrega aliadas à manutenção da qualidade, acabam tendo produções estruturadas de forma inadequada. Isso leva a transtornos na produção, muitas vezes causando prejuízos irreversíveis (Slack, 2018).

A Engenharia de Produção norte-americana passou a colocar foco na melhoria radical das operações, racionalizando o trabalho das pessoas e na melhoria das máquinas. Surge, assim, o paradigma da melhoria dos sistemas produtivos através da melhoria radical nas operações (Antunes, 2011). No entanto, na Administração Científica, Taylor defendia a especialização do trabalho, sintetizada pelo princípio “um homem/um posto/uma tarefa”, o que resultava na padronização e no aumento da eficiência das operações, não contemplando a multifuncionalidade do trabalhador (Antunes, 2011). Contudo, segundo Antunes (2011), essa prática se originou a partir de uma proposta de Taiichi Ohno, permitindo sua generalização posterior no Sistema Toyota de Produção, sendo denominada automação.

Em 1945 surge uma nova abordagem proposta por Shingo (1996), onde os sistemas de produção não deveriam ser vistos apenas como um conjunto de operações. Ele sugeriu que a produção poderia ser visualizada como uma rede de processos e operações, propondo uma nova análise de sistemas produtivos, intitulado com Mecanismo da função produção (MFP), vide Figura 1.

Figura 1 – Esquema do fluxo de produção Just-in-Time.

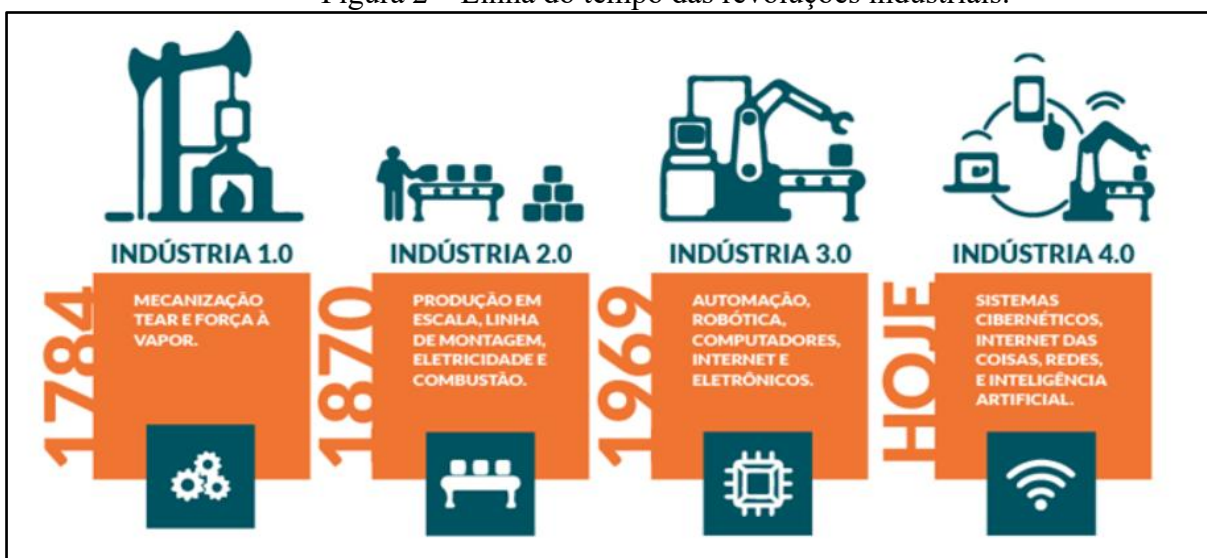


Fonte: Shingo (1996, p.38)

O Mecanismo da Função Produção (MFP) propõe a compreensão da manufatura como uma rede integrada de processos e operações (Shingo, 1996). Nessa perspectiva, o processo representa o fluxo de materiais ao longo do tempo e do espaço, refletindo a transformação da matéria-prima em produtos acabados ou semiacabados. As operações, por sua vez, correspondem às etapas que compõem esse fluxo, caracterizando o trabalho executado para viabilizar a transformação e promovendo a integração entre equipamentos, recursos e operadores.

A evolução do MFP surge com o novo paradigma intitulado como indústria 4.0, que visa otimizar recursos e melhorar a produtividade. Para Satyro (2023), uma produção mais limpa aumenta os ganhos das empresas, reduzindo riscos com as pessoas e melhorando suas estratégias em direção a ter uma linha de produção mais eficiente. Essa transformação reflete o avanço tecnológico em curso, caracterizado por mudanças crescentes na gestão dos negócios. Esse cenário exige que gestores adotem ferramentas capazes de fornecer resultados de forma ágil e, preferencialmente, em tempo real. Assim, ao longo dos anos, testemunhamos uma evolução industrial marcada pelas seguintes etapas: A Primeira Revolução Industrial foi marcada pelo uso da energia hidráulica e a vapor; a Segunda, baseada na energia elétrica; a Terceira, com a introdução de tecnologias eletrônicas que promoveram a automação da produção; e a Quarta Revolução industrial, que demonstra a conectividade entre as redes de produção, integradas por sistemas computacionais e a internet das coisas. (Xu, 2018), vide Figura 2.

Figura 2 – Linha do tempo das revoluções industriais.



Fonte: Castro et al. (2023).

Com o surgimento de sistemas inteligentes capazes de promover a comunicação entre máquinas, novas soluções começam a ser desenvolvidas, incentivadas pela indústria 4.0. A

transformação digital ganha espaço como uma alternativa viável para aprimorar o conhecimento gerencial. Nesse contexto, em um mercado cada vez mais dinâmico, as empresas que conseguem integrar inteligência tecnológica aos processos operacionais se destacam pela agilidade e precisão na tomada de decisões. Esse tipo de gestão torna-se mais compreensível com o uso de ferramentas inteligentes, que permitem a tomada de decisão imediata, baseada em relatórios ou consultas em tempo real (Manesh, 2020). Para Manesh (2020), o recente avanço tecnológico na era digital impulsiona a economia, tornando as empresas mais competitivas. O monitoramento das operações em tempo real, aliado a sistemas de tecnologia sofisticada, eleva a indústria para novos patamares, permitindo uma maior eficiência e controle, além de oportunidades de inovação e melhor adaptação às demandas do mercado.

Para realizar melhorias significativas nos processos, é importante distinguir o fluxo de produto do fluxo de trabalho. Essa distinção é crucial, pois intervenções pontuais em uma operação, sem a compreensão do impacto nos fluxos gerais, podem comprometer a eficiência global do processo e das operações é fundamental para identificar gargalos e oportunidades de otimização. Melhorias feitas em uma operação, sem análise adequada, podem reduzir a eficiência global no processo (Shingo, 1996). A importância do mecanismo da função produção é evidenciada pela integração entre os sistemas físicos e digitais, que se tornou essencial para a competitividade das empresas. A otimização de processos permite que as empresas sejam mais sustentáveis, mantendo um ambiente de boa qualidade e uma flexibilidade produtiva capaz de atender os diferentes tipos de produtos, reforçando a necessidade de que as empresas compreendam cada vez melhor o funcionamento da produção (Xu, 2018).

Organizações que operam sob a estratégia *Engineer-to-Order* (ETO) demandam uma gestão produtiva flexível e adaptável às constantes mudanças do mercado, capazes de desenvolver produtos alinhados a requisitos específicos dos clientes (Adrodegari, 2015). A falta de planejamento e monitoramento eficazes, segundo Adrodegari (2015), limita a tomada de decisão e dificulta o controle da produção nesses contextos.

A integração entre os departamentos e a comunicação eficaz dentro das organizações mostram a disposição que a empresa tem em realizar um planejamento mestre de produção adequado. Em ambientes de customização em massa, é essencial que os processos estejam alinhados para que a produção funcione de forma eficiente e atenda as demandas do cliente. Em ambientes ETO, essa dificuldade é mostrada pela falta de ferramentas adequadas para gerenciamento de seus processos (Halevi, 2014).

Diante desse cenário, no qual as empresas enfrentam desafios crescentes para poder adaptar-se às demandas específicas do mercado, torna-se crucial entender como otimizar e

estabilizar esses processos. Dessa forma, evidencia-se a importância de se dispor de um modelo de produção estruturado para ambientes de customização em massa, capaz de garantir estabilidade e flexibilidade no ambiente produtivo.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Devido à alta complexidade em ambientes de produção ETO, faz-se necessário o desenvolvimento constante de novas ferramentas para auxiliar a produção em seus processos de forma mais eficiente e estratégica. As empresas com sistemas de produção ETO precisam de modelos gerenciais adequados, capazes de solucionar os problemas que surgem no dia a dia da produção (Caron et al., 1995). Para Caiming Zhang et al. (2021), a indústria 4.0 promove a integração em tempo real das instalações, o que permite aumentar a lucratividade, eficiência, personalização, inovação, desempenho e melhor gerenciamento dos processos, facilitando a interconexão entre as informações da manufatura.

O sistema Toyota da Produção, um dos pilares para muitas empresas, baseia-se em 4 regras principais. Regra 1: Todo trabalho deve ser especificado quanto a conteúdo, sequência, tempo e resultado. Regra 2: A conexão entre cliente e fornecedor interno deve ser clara, garantindo que todos os colaboradores saibam exatamente o que fazer. Regra 3: O caminho de cada produto e serviço deve ser simples e direto. Regra 4: As melhorias devem seguir um método científico e ser guiados por um líder (Spear et al., 1999). Para Spear et al. (1999), empresas tentaram e ainda tentam adotar esse sistema de produção, no entanto, muitas fracassam por não conseguirem seguir as regras. O Sistema Toyota possui sua própria comunidade científica, dedicada a estabelecer estudar e testar hipóteses para que melhorias possam ser implementadas. As regras servem para capacitar os colaboradores a melhorarem seu próprio trabalho, mantendo uma conexão entre fornecedores e clientes. Dessa forma, as alterações e melhorias propostas podem ser implementadas sem causar grandes impactos em outros setores (Spear et al., 1999).

A fabricante de computadores Dell, situada em Hortolândia – SP, opera com o sistema de produção ETO, no qual sua produção é voltada para a montagem de computadores customizados. Grande parte de seus componentes vêm do exterior. O processo de produção envolve colaboradores que separam os materiais solicitados pelos clientes, os quais, por meio de esteiras, são encaminhados aos responsáveis pela montagem. Após a montagem, o notebook recebe o sistema operacional, e passa por testes automáticos para verificação de funcionalidade. Após os testes, o notebook é embalado com segurança, garantindo que chegue ao consumidor

final sem defeitos estéticos ou danos causados durante o transporte até a entrega, conforme descrito por Paulo Higa (2013).

A Bruning Tecnometal é uma empresa de capital nacional fornecedora de autopeças, que atua nos segmentos automotivo, rodoviário e agrícola. Trabalha com um sistema de produção ETO, onde todo pedido passa por uma avaliação de engenharia antes de seguir para produção. A demanda é recebida pela empresa e avaliada pelo setor de PCP, que provisiona a matéria prima por seis meses. Posteriormente, é feito um nivelamento de produção para que todos os centros de trabalho tenham demanda suficiente. A produção é dividida em três grandes fluxos que são subdivididos em famílias, criando-se assim linhas de produção dedicadas para cada tipo de família. Ao final da produção, as peças são enviadas para um setor chamado “supermercado”, onde são distribuídas para seu destino final (Schmidt, 2022).

A General Motors do Brasil (GM) é uma empresa tradicional de produção automobilística que tem como conceito a fabricação centralizada em seus fornecedores, situados dentro de um condomínio industrial localizado na cidade de Gravataí no Rio grande do Sul. A produção começa com o processo de estamparia, segue para a funilaria, depois para a pintura, e finaliza com a montagem geral. Esses sistemas de produções baseados no Sistema Toyota de Produção, seguindo os conceitos *lean manufacturing* conforme vídeo publicado pelo canal Seguinte TV (2019).

Observa-se nos casos relatados que as empresas em destaque no mercado econômico possuem sistemas produtivos bem estruturados e confiança em seus processos. Essas organizações estão cada vez mais investindo em tecnologia para otimizar o desempenho produtivo, demonstrando que a consolidação operacional e o tempo de atuação contribuem diretamente para uma maior maturidade na absorção e atendimento de demandas diversificadas.

De maneira geral, a complexidade de ambientes de produção ETO exige das organizações a adoção e o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas inovadoras que possam garantir o andamento dos fluxos de processo. Empresas que adotam modelos de produção bem estruturados e baseados na indústria 4.0, conseguem garantir maior agilidade, personalização e eficiência, fortalecendo sua competitividade. A capacidade de integrar tecnologias proporciona um diferencial estratégico, permitindo que essas empresas aproveitem as mudanças e oportunidades que surgem na indústria.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Nessa seção são apresentadas as justificativas teóricas e práticas da dissertação.

### 1.2.1 Justificativa teórica

Em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO) no Brasil, observa-se uma dificuldade recorrente na compreensão dos processos manufatureiros. Essa limitação contribui para que a variabilidade de operações e o sequenciamento produtivo se tornem complexos e de difícil gestão. Organizações caracterizadas por alta variabilidade e por demandas diversificadas tendem a apresentar processos menos padronizados, o que compromete a visibilidade do fluxo produtivo e dificulta a tomada de decisão gerencial.

A implantação de ferramentas como o Mecanismo da Função Produção (MFP) em ambientes ETO demanda uma formalização dos processos, sendo necessário um melhor alinhamento entre o planejamento tático e operacional. Essa gestão eficiente melhora o desempenho produtivo, garantindo o cumprimento dos prazos de entrega e um fluxo de trabalho contínuo, além de diminuir as incertezas impostas pelo mercado. No entanto, a integração de softwares especializados em gestão pode fornecer soluções práticas para preencher essa lacuna (Bhalla et al., 2023).

Além disso, o conceito de maturidade Lean, explorado por Jaskowiak et al. (2024), reforça a importância de uma abordagem estruturada na melhoria contínua. Para alcançar resultados expressivos em ambientes complexos, como o ETO, é necessário investir em liderança colaborativa, comunicação clara e treinamento consistente. Esses elementos são fundamentais para a introdução de uma cultura organizacional apoiada em mudanças estruturais e tecnológicas. Assim, a aplicação dos princípios Lean ajudam a identificar gargalos produtivos e promove uma transição mais eficaz e padronizada, alinhada aos objetivos estratégicos da organização (Jaskowiak et al., 2024).

A literatura recente reforça os desafios de coordenação ocasionados pelas incertezas operacionais em ambientes ETO. Estudos como o de Ghiyasinab et al. (2021) mostram que a utilização de ferramentas de planejamento baseadas em modelos matemáticos e em multiobjetivos tem potencial para otimizar custos e melhorar a gestão de recursos em empresas de pequeno e médio porte. Contudo, a falta de organização e integração entre o planejamento estratégico e tático impede que muitas organizações alcancem resultados desejáveis. A combinação de ferramentas digitais, como simulação de cenários e algoritmos de programação, surge como uma solução promissora para preencher essa lacuna, principalmente em empresas que trabalham com múltiplos projetos simultâneos (Dallasega, 2016; Ghiyasinab, 2021).

Outro ponto central é a necessidade de maior integração entre sistemas de gestão na cadeia de suprimentos, especialmente em relação às demandas específicas do ETO. Dallasega

et al. (2016) destacam a importância da divisão de pedidos como estratégia para gerenciar incertezas e alinhar processos de produção às demandas do cliente. Esse alinhamento visa não apenas melhorar o uso dos recursos, mas também reduzir prazos de entrega e os custos associados às variações de demanda impostas pelo mercado. No entanto, a implantação dessas práticas requer não apenas investimentos em tecnologia, mas também uma transformação organizacional, promovendo maior colaboração entre as equipes e setores envolvidos (Cannas et al., 2021; Ghiyasinab, 2021).

Para Shingo (1996), toda produção deve ser entendida de forma funcional, em que os processos e operações precisam ser compreendidos para se ter uma noção clara de onde podem ser feitas melhorias. É preciso entender o processo antes de melhorar as operações. No entanto, o processo pode ser melhorado de duas maneiras: a primeira é entendendo melhor o produto a partir da engenharia de valor; a segunda, compreendendo os métodos de fabricação do ponto de vista da engenharia de produção ou da tecnologia de fabricação.

A evolução do desenvolvimento de processos em fábricas inteligentes tornou-se um tema relevante na indústria nos últimos vinte anos, com uma expansão na integração entre sistemas ciber-físicos, internet das coisas e na interatividade entre automação e comunicação entre máquina e homem. Nesse contexto, surgiu o termo Indústria 4.0 na Alemanha em 2011, enquanto nos Estados Unidos foi criado o Consórcio de Internet Industrial, consolidando o papel das tecnologias digitais na indústria (Oztemel et al., 2020).

Outro marco importante é o conceito de fábricas com pouca intervenção humana, nas quais se aproveita ao máximo a robótica avançada e a automação, operando em ambientes completamente digitalizados e sustentáveis. Esse modelo permite a geração de dados em tempo real, o que contribui para a adaptação e otimização dos processos, tornando a produção mais eficiente e com maior velocidade de resposta (Oztemel et al., 2020).

A inteligência artificial, especialmente na última década, possibilitou que sistemas produtivos aprendessem a se adaptar autonomamente a partir de dados operacionais, o que foi essencial para o avanço de processos em fábricas inteligentes. Esse progresso tecnológico permitiu que as empresas otimizassem suas linhas de produção por meio de simulação ou realidade aumentada. As decisões tomadas com uso dessas tecnologias têm contribuído com as empresas ao serem utilizadas para treinamentos, execução de tarefas específicas e redução do tempo operacional, evitando erros, especialmente em empresas com sistema de produção ETO (Oztemel et al., 2020).

É importante que a expansão dessas tecnologias seja apoiada por políticas governamentais, fortalecendo a Indústria 4.0. Em países desenvolvidos, como Alemanha, Japão

e Estados Unidos, existem programas de investimento que promovem a adaptação de empresas ao ambiente digital. Esse apoio contribui para a padronização dos sistemas e para a segurança cibernética, que ainda apresentam obstáculos para muitas empresas (Oztemel et al., 2020).

Diante disso, a importância de estudar PCP em ambientes MTO e ETO, e desenvolver estratégias que consigam unir a teoria e a prática, torna-se essencial. Explorar o avanço histórico não só contribui para a academia, mas também fornece uma base para empresas enfrentarem os desafios da constante transformação, como customização, prazos de entrega reduzidos e competição global. Essa abordagem equilibra flexibilidade e eficiência, consolidando a relevância do tema no contexto de transformações tecnológicas e econômicas globais (Stevenson et al., 2005; Adrodegari et al., 2015; Jünge et al., 2023).

A Engenharia de Produção, por meio da integração de tecnologias inovadoras, torna os modelos de produção mais eficientes e flexíveis, permitindo que as empresas se adaptem rapidamente às mudanças do mercado. Essa evolução destaca a necessidade de que ambientes ETO estejam preparados para mudanças inesperadas, sendo essencial que o avanço das tecnologias da Indústria 4.0 seja incorporado a essas organizações. Estudos sobre melhores práticas têm o potencial de transformar a indústria, tornando-a cada vez mais competitiva. Em um cenário em constante evolução, é fundamental compreender profundamente os processos, a fim de tornar as tomadas de decisão mais assertivas e alinhadas às demandas do mercado.

### **1.2.2 Justificativa prática**

A organização estudada foi uma empresa situada no Rio Grande do Sul, é fabricante de máquinas e equipamentos, realizando sessenta por cento da sua produção internamente, enquanto os outros quarenta por cento dependem de processos terceirizados. A empresa em estudo possui dificuldade em compreender sua manufatura interna e em ter uma noção precisa de sua capacidade produtiva, pois não existe um controle de produção próximo ao setor de PCP (Planejamento e Controle da Produção). Contudo, a empresa busca aumentar sua capacidade produtiva e, para isso, precisa mapear e entender seus processos antes de tomar decisões sobre a aquisição de equipamentos para melhorar a performance de sua produção.

A falta de padronização de processos na produção é um problema real na empresa analisada, pois o PCP acaba sendo um setor que apenas imprime ordens de produção e estima a capacidade produtiva por meio da soma dos tempos, sem considerar a chegada do material e seus itens dependentes. Isso compromete a eficiência da produção, pois os materiais chegam na

empresa de forma desordenada. A chegada antecipada de material afeta o fluxo de caixa e aumenta consideravelmente o volume de material em processo.

Em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO) no Brasil, observa-se uma dificuldade recorrente na compreensão dos processos manufatureiros. Essa limitação faz com que a variabilidade das operações e o sequenciamento da produção se tornem complexos e de difícil domínio pelos gestores. Organizações que lidam com elevada variabilidade e com demandas de produtos diversificados tendem a apresentar processos menos estruturados, o que compromete a clareza do fluxo produtivo e dificulta o gerenciamento eficiente das atividades.

O Mecanismo da Função Produção é uma ferramenta importante para criar esse entendimento em empresas com produção desorganizada e sem padronização de processos. Este estudo visa permitir que a empresa visualize de forma mais clara seus processos, identificando melhor seus problemas produtivos causados pela falta de planejamento e controle da produção no chão de fábrica.

### 1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Com base na contextualização e justificativa, este trabalho tem como questão de pesquisa: Como aplicar conceitos do MFP em ambientes de produção altamente customizados?

### 1.4 OBJETIVOS

Nessa seção são apresentados os objetivos geral e específico do trabalho.

#### 1.4.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é desenvolver um processo de manufatura integrando conceitos e práticas enxutas em ambientes de alta customização.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

Do objetivo geral derivam-se os específicos como sendo:

- a) identificar perdas e desperdícios prevalentes em ambientes de alta customização;
- b) analisar o papel de tecnologias avançadas em fluxos de produção de ambientes de alta customização.

- c) Mapear o fluxo produtivo da empresa, identificando suas inter-relações e oportunidades de melhoria.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é estabelecida uma base teórica que fundamenta a pesquisa, oferecendo uma visão abrangente dos sistemas de produção sob encomenda e das principais teorias e metodologias de planejamento e controle utilizados em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO). Assim, este capítulo tem como objetivo integrar conceitos fundamentais, preparando o terreno para uma análise detalhada de problemas específicos no ambiente produtivo.

### 2.1 MECANISMO DA FUNÇÃO PRODUÇÃO (MFP)

O Mecanismo da Função Produção (MFP) surgiu como uma proposta teórica para repensar o modo como os sistemas produtivos são analisados e estruturados, indo além da simples representação de fluxos materiais. Desenvolvido a partir das ideias de Shingo, (1996) o MFP propõe a decomposição da produção em cinco tipos de atividades: processamento, movimentação, inspeção, espera e armazenamento. Apenas o processamento agrega valor ao produto final, enquanto os demais representam fontes potenciais de desperdício e ineficiência (Shingo, 1996), vide Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das atividades no processo produtivo.

Tipo de Atividade	Exemplo no Chão de Fábrica	Agrega Valor
Processamento	Usinagem, Soldagem, montagem funcional	Sim
Movimentação	Transporte de peças entre setores	Não
Inspeção	Verificação dimensional ou visual	Não
Espera	Parada entre operações, espera por setup	Não
Armazenamento	Estocagem de componentes ou produtos finais	Não

Fonte: Shingo (1996)

Uma das confusões mais recorrentes nos estudos e na prática da Engenharia de Produção é entre os conceitos de produção e operação. Enquanto a produção representa o conjunto coordenado de processos que transforma insumos em produtos, abrangendo desde o planejamento até a entrega, as operações referem-se a ações pontuais e localizadas, como corte, soldagem, inspeção ou transporte. Essa distinção é essencial para a aplicação do MFP, pois permite identificar quais operações efetivamente agregam valor e quais apenas consomem

recursos sem contribuir para o resultado final. Como destacam Slack et al. (2015), compreender os sistemas produtivos requer a separação clara entre o fluxo total de atividades e os momentos específicos de execução, já que muitas vezes "movimento não é trabalho". Por exemplo, ao montar uma máquina, o processamento agrega valor ao produto, enquanto a espera pelo abastecimento ou a movimentação entre setores representa interrupções que devem ser analisadas criticamente. Assim, o MFP desloca o foco da quantidade produzida para a função efetiva de cada operação no sistema produtivo.

A distinção proposta pelo MFP entre processos — como fluxos contínuos que cruzam áreas funcionais — e operações — ações executadas pontualmente em postos de trabalho — permite identificar com clareza onde ocorrem rupturas, gargalos ou retrabalho, como por exemplo quando há espera entre uma usinagem e a montagem final por falta de sincronização entre os setores. Essa compreensão mais detalhada é essencial para diagnósticos produtivos mais apurados, pois permite mapear onde efetivamente há agregação de valor e onde ocorrem interrupções e perdas (Shingo, 1996).

Autores como Adrodegari et al. (2015) e Stevenson et al. (2005) destacam que essa interpretação sistêmica do MFP é particularmente útil de ser aplicada em ambientes com alta variabilidade, como os sistemas sob encomenda. Em contextos complexos e incertos, a simples modelagem linear dos processos falha em capturar a realidade operacional. O MFP permite visualizar a rede de interdependências entre atividades e contribui para identificar gargalos ocultos, sobrecargas e a natureza dos fluxos produtivos.

Essa constatação é relevante para o presente estudo, pois evidencia que o MFP não apenas descreve fluxos produtivos, mas serve como instrumento para reorganizar estruturas produtivas onde o sequenciamento tradicional falha. No contexto da empresa estudada, essa lacuna também se evidencia nas dificuldades de priorização e replanejamento diante de alterações frequentes nos pedidos.

Adrodegari et al. (2015) reforçam que o uso de abordagens como o MFP, associadas a modelos de controle e planejamento específicos, pode auxiliar na adaptação de ferramentas de gestão tradicionalmente voltadas a ambientes repetitivos para sistemas *Engineer-to-Order* (ETO). Isso é possível porque o MFP prioriza a análise funcional das atividades, considerando sua contribuição real para a fluidez e eficiência do sistema, o que favorece a implantação de sistemas de melhoria contínua.

Em ambientes ETO, a engenharia iterativa exerce influência direta sobre a estrutura das operações produtivas. Mudanças no escopo de projeto, revisões técnicas ou modificações solicitadas pelo cliente durante a execução impactam imediatamente as sequências de produção.

Essa realidade exige sistemas flexíveis, capazes de adaptar os recursos e a lógica de execução sem comprometer prazos e qualidade. Junge et al. (2023) destacam que cerca de metade das atividades em ambientes ETO não agrega valor direto ao produto, mas são indispensáveis para lidar com a complexidade técnica envolvida. O MFP se apresenta como uma ferramenta que permite que decisões de engenharia sejam refletidas de forma estruturada nas operações subsequentes, fortalecendo a integração entre os setores.

A compreensão da lógica operacional via MFP também permite definir indicadores-chave de desempenho que são coerentes com a realidade da produção sob encomenda. Diferente dos ambientes MTS ou ATO, onde métricas como taxa de ocupação ou eficiência por célula podem ser mais estáticas, os ambientes ETO exigem KPIs adaptáveis, como lead time real por projeto, tempo de atravessamento por família de produto, retrabalho por causa raiz e eficiência de preparação (setup). O MFP contribui para a construção de uma base de dados estruturada que reflete o comportamento real das operações, auxiliando a gestão na priorização de melhorias, alocação de recursos e identificação de gargalos recorrentes (Shingo, 1996).

A disposição física dos recursos e o layout do chão de fábrica influenciam diretamente o desempenho das operações. Em empresas ETO, onde peças e subconjuntos percorrem trajetórias irregulares, a movimentação excessiva entre centros de trabalho se transforma em uma das principais fontes de desperdício. Estudos como o de Ferronato (2013) revelam que atividades como transporte e espera podem representar mais de 30% do tempo total de produção, muitas vezes mascaradas em rotinas não monitoradas. O MFP, ao estruturar graficamente essas atividades, facilita a análise crítica do layout e promove alterações que reduzem deslocamentos desnecessários e melhoram o fluxo de materiais.

Outro aspecto relevante é a alocação de recursos humanos frente à variabilidade da demanda. Em sistemas ETO, a exigência de múltiplas habilidades e a ocorrência de operações não padronizadas requerem um olhar mais cuidadoso sobre a carga cognitiva e a autonomia dos operadores. Brachmann et al. (2021) argumentam que a flexibilidade de perfis produtivos, inclusive humanos, é determinante para o desempenho do sistema. O MFP pode mapear não apenas os fluxos materiais, mas também as responsabilidades e competências envolvidas em cada etapa, apoiando decisões sobre treinamento, balanceamento entre células e a necessidade e polivalência.

Embora o MFP e o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) compartilhem o objetivo de tornar visível o funcionamento real dos sistemas produtivos, suas abordagens são distintas e complementares. O MFP concentra-se na natureza das atividades, classificando-as de acordo com sua contribuição para o valor, enquanto o VSM enfatiza a sequência temporal e

informacional das etapas produtivas. Juntos, oferecem uma visão abrangente que apoia tanto o diagnóstico quanto o redesenho de processos (Rother et al., 2003).

A abordagem proposta pelo MFP está alinhada a uma visão integrada da produção, na qual os sistemas devem ser geridos de maneira holística, considerando as interfaces entre os diferentes setores e a interação entre planejamento, execução e controle. Essa visão é compartilhada por autores como Slack et al. (2015), que argumentam que o desempenho operacional está diretamente relacionado à capacidade da empresa de compreender e modelar seus fluxos internos como sistemas interdependentes.

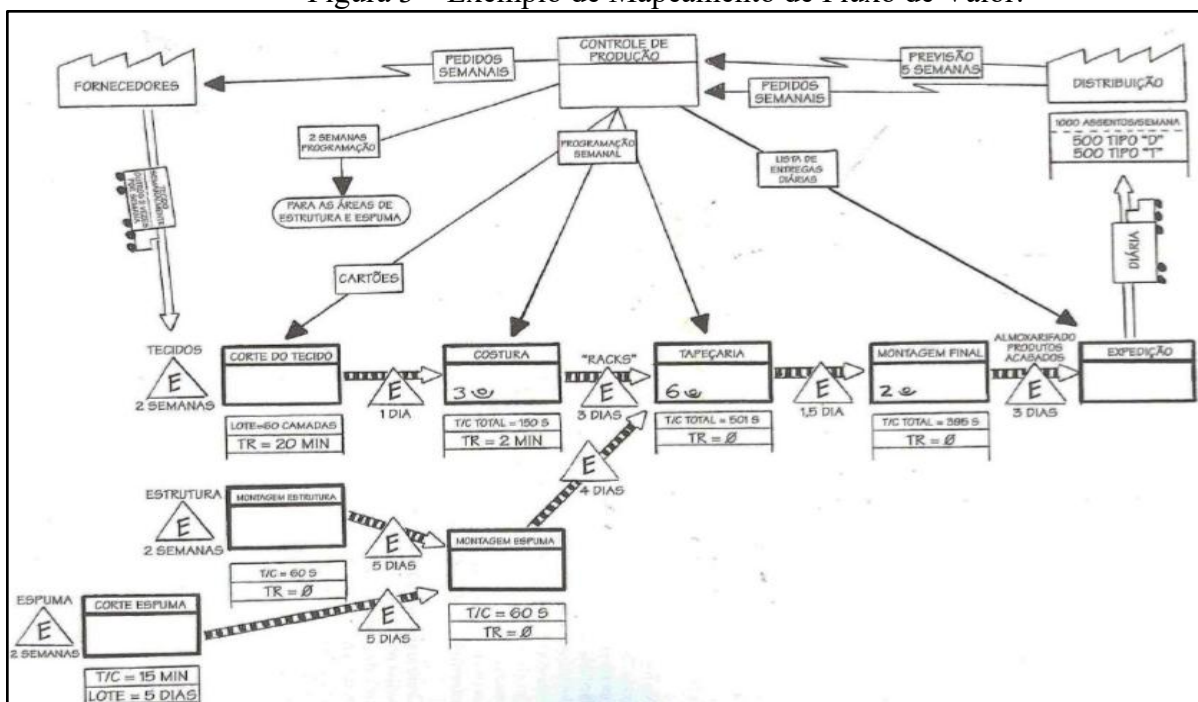
Como afirmou Shingo (1996), “muitas pessoas confundem movimento com trabalho”. Essa afirmação sintetiza o cerne do MFP: tornar visíveis as atividades que apenas movimentam recursos sem gerar valor. Ao desmascarar essa confusão comum, o MFP oferece uma base analítica para a verdadeira melhoria dos processos produtivos.

Em síntese, o MFP oferece uma perspectiva aprofundada sobre os sistemas produtivos, revelando oportunidades de melhoria e promovendo a integração entre diagnóstico e tomada de decisão. A seguir, será abordado o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM), uma ferramenta que, em consonância com os princípios do MFP, permite representar e analisar os fluxos de atividades e informações de maneira visual e objetiva.

## 2.2 MAPEAMENTO DA CADEIA DE VALOR

O Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM – *Value Stream Mapping*) conforme demonstrado na Figura 3 é uma ferramenta amplamente utilizada no contexto da produção enxuta, com foco na identificação de perdas e na análise dos fluxos físicos e informacionais que compõem um sistema produtivo. Mais do que visualizar o caminho de um produto, o VSM permite evidenciar atividades que não agregam valor — como esperas, retrabalhos ou movimentações desnecessárias — e que muitas vezes permanecem ocultas nas rotinas diárias (Rother et al., 2003).

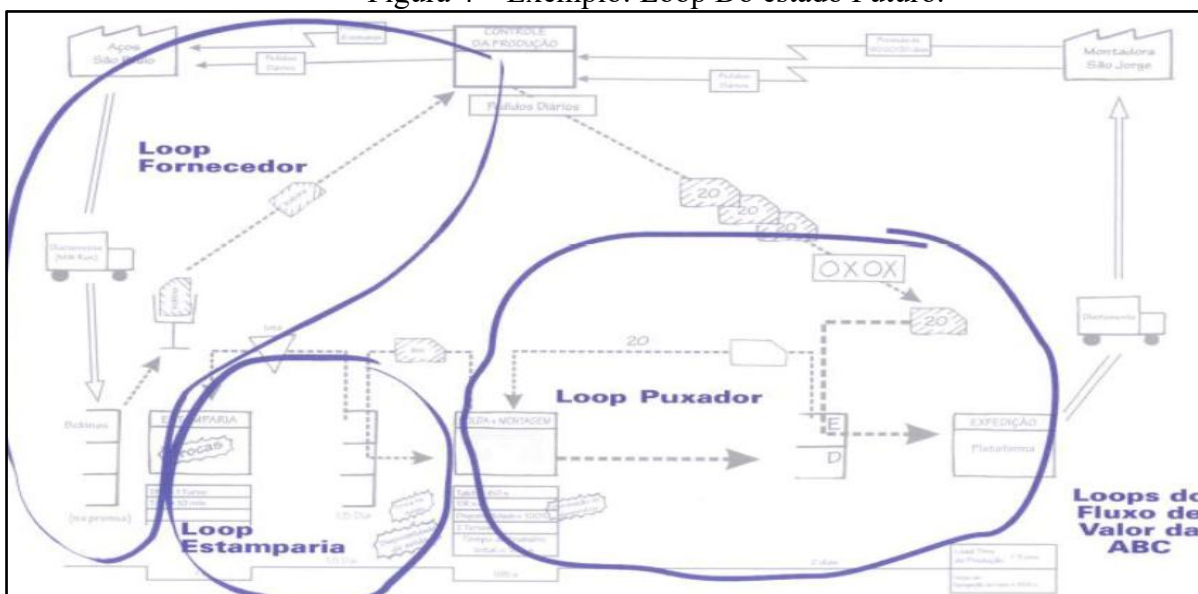
Figura 3 – Exemplo de Mapeamento de Fluxo de Valor.



Fonte: Rother et al. (2003, p.29).

Sua aplicação visa responder a três questões centrais: (i) o que está acontecendo no fluxo atual; (ii) onde se concentram os desperdícios e as ineficiências; e (iii) como o fluxo pode ser redesenhado de forma mais enxuta. Ao representar graficamente o estado atual e projetar um estado futuro desejado, o VSM fornece subsídios objetivos para a tomada de decisão e a priorização de melhorias, integrando visualmente o fluxo de materiais e o fluxo de informações, conforme amplamente discutido na literatura (Rother et al., 2003; Womack et al., 2004; Liker, 2005), como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo: Loop Do estado Futuro.



Fonte: Rother et al. (2003, p.29).

Em ambientes de produção sob encomenda (ETO), nos quais a variabilidade e a customização desafiam a padronização, o VSM exige adaptações. Ferronato (2013) aponta que, mesmo em sistemas de produção com itens únicos ou fabricados em pequenas séries, é possível empregar o VSM para evidenciar gargalos, etapas mal sincronizadas e tempos de espera excessivos. Nesses casos, o mapeamento pode se estender a áreas como engenharia, homologações e liberação de ordens, agregando valor também ao fluxo de decisões.

Nesse contexto, a identificação de gargalos assume papel central na análise do fluxo produtivo. De acordo com Goldratt (1990), o gargalo — ou restrição — corresponde ao recurso, etapa ou condição que limita o desempenho global do sistema, determinando sua capacidade máxima de geração de resultados. Em sistemas produtivos, especialmente aqueles caracterizados por elevada variabilidade, como os ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), os gargalos tendem a se manifestar de forma dinâmica, migrando entre processos conforme a configuração do produto, a carga de trabalho e a disponibilidade de recursos. A Teoria das Restrições (TOC) destaca que a concentração excessiva de Work-in-Process (WIP), o aumento dos tempos de atravessamento e a baixa previsibilidade operacional são frequentemente consequências diretas da má gestão das restrições do sistema (Goldratt, 1990). Nesse sentido, o VSM contribui ao tornar visíveis os pontos de acumulação e interrupção do fluxo, enquanto a compreensão do gargalo permite orientar decisões de priorização e sincronização das atividades, reforçando a necessidade de uma abordagem sistêmica para a melhoria do desempenho produtivo.

A principal vantagem do VSM está em sua capacidade de tornar visível o que muitas vezes é intuitivo. Junge et al. (2023) destacam que, ao explicitar os pontos de perda, a ferramenta promove a consciência coletiva da equipe e favorece a construção de planos de ação baseados em dados observáveis. Além disso, o VSM contribui para eliminar a fragmentação entre setores, estimulando uma visão sistêmica do processo produtivo.

De acordo com Womack et al. (1996), o VSM reflete os cinco princípios do pensamento enxuto: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, sistema puxado e busca pela perfeição. No entanto, sua eficácia depende da capacidade da organização de adaptar esses princípios à sua realidade. Em empresas ETO, isso significa considerar não só o chão de fábrica, mas também os fluxos de engenharia e aprovações, que impactam diretamente os prazos e a fluidez do processo.

Apesar dos benefícios amplamente reconhecidos, a literatura aponta limitações na aplicação do VSM em ambientes caracterizados por elevada variabilidade e baixa repetitividade, como os sistemas *Engineer-to-Order* (ETO) (Gosling et al., 2009; Dallasega et

al., 2015). Nesses contextos, diferentes autores destacam a necessidade de complementar o VSM com abordagens capazes de aprofundar a análise da natureza das atividades produtivas, como o Mecanismo da Função Produção (MFP), que permite compreender de forma mais detalhada a relação entre operações, fluxos e funções do sistema (Shingo, 1996; Antunes, 2011). Enquanto o VSM concentra-se predominantemente na sequência temporal e na ordenação das atividades, o MFP aprofunda a análise ao investigar como e por que cada atividade ocorre, ampliando a compreensão dos mecanismos que sustentam o desempenho do sistema produtivo.

Quando integradas, essas duas abordagens oferecem uma leitura mais rica e operacionalizável do sistema produtivo. Adrodegari et al. (2015) reforçam que essa integração contribui para alinhar as ferramentas de análise à estratégia de planejamento e controle da produção, tornando possível agir tanto sobre o fluxo como sobre a função das atividades executadas.

Por fim, o VSM tem ampliado seu alcance por meio de recursos digitais e aplicações em ambientes de manufatura inteligente. Seu uso não se limita ao chão de fábrica: pode ser aplicado em processos administrativos, fluxos de suprimentos, áreas de engenharia e até atendimento ao cliente, desde que haja clareza sobre os objetivos do mapeamento. Em sistemas ETO, esse uso ampliado é especialmente relevante, pois permite mapear com mais precisão a jornada completa da produção sob demanda — desde a concepção técnica até a entrega final do produto.

### 2.3 ESTRATÉGIAS DE MANUFATURA: MODELOS MTS, ATO, MTO E ETO

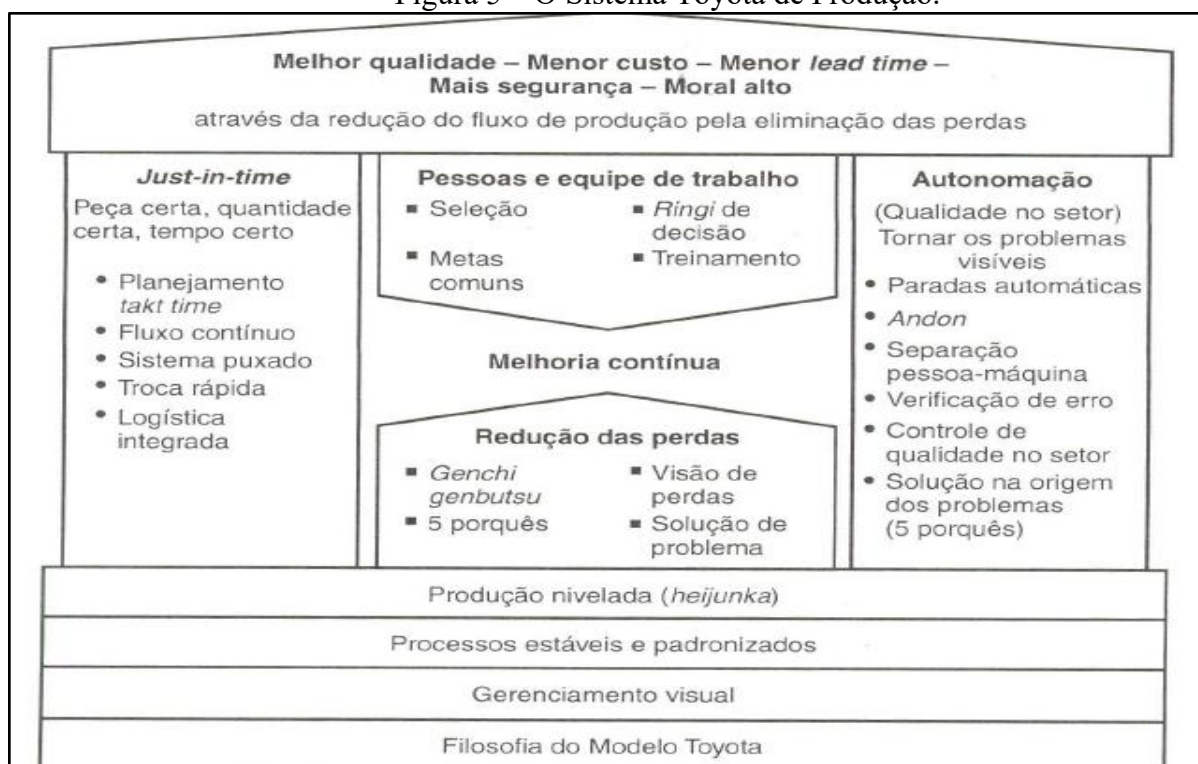
A definição de uma estratégia de manufatura deve considerar como a organização estrutura seus processos em resposta à demanda de mercado e às características específicas de seus produtos e clientes. De acordo com Slack et al. (2015), essa estratégia representa um conjunto de decisões operacionais que moldam a forma como os recursos serão organizados para atender aos objetivos do negócio. Tais decisões impactam diretamente fatores como o nível de estoque, o tempo de resposta ao cliente, o grau de customização do produto e a flexibilidade do sistema produtivo — por exemplo, sistemas voltados ao estoque tendem a oferecer resposta rápida, mas com menos personalização.

Dentre as estratégias possíveis, destacam-se dois paradigmas fundamentais: os sistemas de produção empurrados (*push*) e os puxados (*pull*). Em sistemas empurrados, a produção é baseada em previsões de demanda e ocorre de forma antecipada, com o objetivo de manter estoques disponíveis para pronta entrega. Esse modelo é característico de ambientes do

tipo *Make-to-Stock* (MTS), nos quais a padronização dos produtos permite uma programação eficiente e escalável. Por outro lado, nos sistemas puxados, a produção é iniciada somente após a confirmação da demanda real, o que possibilita maior aderência às necessidades do cliente e redução de estoques (Womack et al., 1996).

Shingo (1996) foi um dos principais críticos dos modelos empurrados, argumentando que a produção baseada em previsões tende a gerar estoques desnecessários, mascarar ineficiências e dificultar a identificação de gargalos reais. Em contrapartida, o sistema puxado, fundamentado no conceito de fluxo contínuo e sincronização com o consumo, permite maior controle e adaptabilidade, sobretudo em ambientes com alta variabilidade de produtos. Com base nesses fundamentos, o Sistema Toyota consolidou seu modelo de produção, representado na Figura 5.

Figura 5 – O Sistema Toyota de Produção.

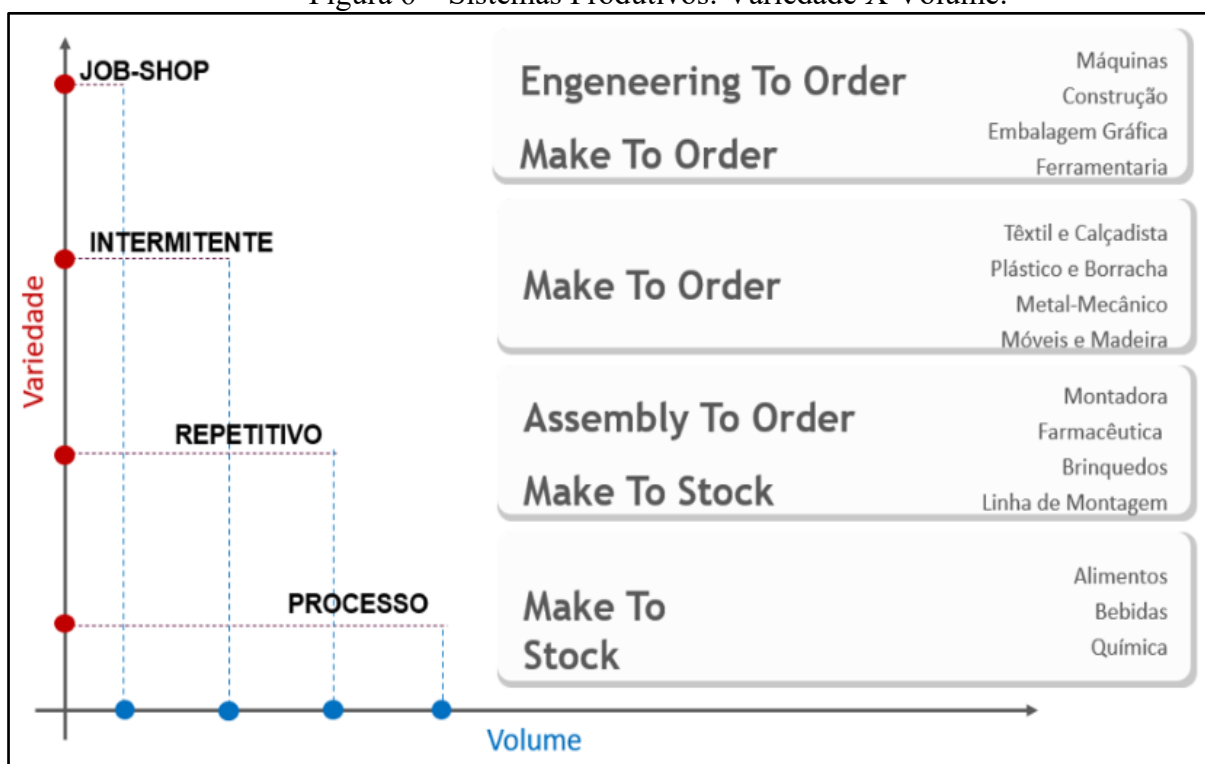


Fonte: Liker (2005 p.51).

A escolha entre uma estratégia empurrada ou puxada não é trivial. Ela depende não apenas do modelo produtivo adotado, mas também de fatores como a volatilidade da demanda, o ciclo de vida dos produtos e a capacidade de resposta da cadeia de suprimentos. Nesse contexto, Olhager (2003) propõe uma classificação baseada no ponto de desacoplamento da demanda, que divide os sistemas em quatro categorias principais: *Make-to-Stock* (MTS), *Assemble-to-Order* (ATO), *Make-to-Order* (MTO) e *Engineer-to-Order* (ETO).

No modelo *Make-to-Stock* (MTS), os produtos são fabricados com base em previsões de demanda e armazenados até que sejam solicitados pelo cliente. Essa abordagem está associada a menores lead times de entrega, porém depende de previsões de demanda precisas e tende a exigir níveis elevados de estoque (Slack et al., 2018; Stevenson et al., 2005). O modelo *Assemble-to-Order* (ATO), por sua vez, combina a padronização de componentes com a montagem final sob encomenda, oferecendo um nível intermediário de customização e prazos de entrega moderados (Olhager, 2003; Gosling e Naim, 2009). Já o modelo *Make-to-Order* (MTO) inicia a produção somente após o recebimento do pedido do cliente, possibilitando maior customização, porém com prazos de entrega mais longos, conforme amplamente discutido na literatura (Slack et al., 2018; Stevenson et al., 2005), como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Sistemas Produtivos: Variedade X Volume.



Fonte: APS3 (2023).

No outro extremo, o modelo *Engineer-to-Order* (ETO) envolve a concepção, o projeto e a fabricação do produto conforme requisitos específicos de cada cliente. Nesse tipo de sistema, as atividades de engenharia e produção são fortemente interligadas, o que aumenta a complexidade do planejamento e gera incerteza quanto aos prazos de entrega (Gosling et al., 2009). Em ambientes ETO, cada pedido pode ser único. Isso exige processos adaptativos, forte integração entre áreas e ferramentas específicas para garantir controle e eficiência operacional.

Stevenson et al. (2005) apontam que métodos tradicionais de planejamento e controle da produção, como o MRP e o CRP, não se mostram adequados ao contexto ETO por assumirem linearidade e previsibilidade nos processos. Adrodegari et al. (2015) reforçam essa análise ao destacar a necessidade de abordagens mais flexíveis, centradas nas atividades reais do chão de fábrica, como as propostas pelo MFP e pelo VSM. Essas observações reforçam a importância de adaptar as ferramentas de gestão à realidade operacional de cada empresa.

Os sistemas de produção *Engineer-to-Order* (ETO) são caracterizados pela alta customização de produtos e variabilidade de mercado, o que torna sua gestão mais desafiadora em relação a modelos padronizados. Estudos como os de Gosling et al. (2009) e Ghiyasinab et al. (2020) evidenciam as complexidades inerentes a esses ambientes, apontando a necessidade de métodos assertivos que possibilitem planejamento e controle eficazes, mantendo adaptabilidade frente à variabilidade e à demanda específica de cada cliente.

Segundo Ghiyasinab et al. (2020), pequenas empresas enfrentam dificuldades na sistematização do planejamento da produção, especialmente em contextos de alta customização. Apesar da disponibilidade de algoritmos e modelos avançados de tomada de decisão, a implementação esbarra na ausência de padronização e na instabilidade dos processos produtivos. A natureza dessas empresas, marcada por operações específicas e dinâmicas, exige constantes ajustes em seus planos para se manterem competitivas em um mercado volátil.

À medida que se caminha de MTS para ETO, há um aumento significativo na variabilidade dos produtos, na necessidade de interação com o cliente e na complexidade do planejamento. Essa evolução demanda maior maturidade na gestão das operações, exigindo ferramentas de suporte à decisão e sistemas capazes de lidar com múltiplas restrições simultâneas e processos interdependentes (Gosling et al., 2009).

Portanto, compreender as diferentes estratégias de manufatura e suas implicações práticas é essencial para projetar sistemas produtivos eficazes. A escolha do modelo produtivo tende a ser mais eficaz quando considera não apenas a natureza do produto e o comportamento da demanda, mas também a capacidade da empresa de integrar planejamento, engenharia e execução. Em ambientes sob encomenda, como os sistemas ETO, essa integração torna-se ainda mais crítica, exigindo uma abordagem sistêmica e adaptativa para garantir competitividade e atendimento às exigências do mercado.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Os sistemas de produção podem ser classificados conforme o momento em que a produção é acionada em relação à entrada do pedido do cliente. Os principais modelos são: Make-to-Stock (MTS), no qual a produção é baseada em previsões de demanda; Make-to-Order (MTO), com fabricação iniciada após o pedido; Assemble-to-Order (ATO), que monta produtos sob demanda a partir de componentes prontos; e *Engineer-to-Order* (ETO), em que o projeto e a produção começam somente após o recebimento de requisitos específicos do cliente. Conforme discutido por Kolisch e Brachmann (2021), o alinhamento teórico desses modelos é mais consolidado em MTS e MTO. No entanto, o ambiente ETO apresenta um alto grau de customização e incerteza, o que dificulta a aplicação de métodos tradicionais como o MRP, cuja eficácia depende de previsibilidade e padronização (Cannas et al., 2021). Esses autores apontam que o MRP falha em gerenciar eficazmente os processos ETO, pois não considera a variabilidade das ordens e a interdependência entre engenharia e produção.

Em ambientes complexos como o ETO, o Planejamento e Controle da Produção (PCP) precisa ser compreendido como uma estrutura que integra design, planejamento, execução e controle de recursos humanos, materiais e informacionais. Conforme Ghiyasinab et al. (2021), a ausência de ferramentas específicas dificulta a operacionalização de fluxos em empresas com alto grau de customização. Nesse contexto, o Mecanismo da Função Produção (MFP) proposto por Shingo (1996) é relevante por classificar as atividades produtivas em cinco categorias: processamento, inspeção, movimentação, espera e armazenamento — sendo o processamento a única que agrega valor. Esse modelo permite estruturar o sistema produtivo com base na função de cada operação, facilitando o diagnóstico de gargalos. De acordo com Ferronato (2013), a aplicação do MFP em ambientes ETO revela disfunções ocultas que o PCP tradicional não identifica, especialmente em fluxos não lineares e com baixa padronização. Em muitas empresas com sistemas ETO, a distinção entre processo (como fluxo contínuo de transformação) e operação (ações pontuais como corte ou soldagem) é negligenciada, o que compromete o planejamento eficaz. Segundo Cannas et al. (2021), essa confusão gera planos imprecisos e decisões baseadas em percepções locais. Ao contrário de ambientes MTS, onde as operações seguem um roteiro fixo e previsível, o ETO depende de informações oriundas da engenharia, aprovações e adaptações constantes durante a produção (Dallasega et al., 2016). O MFP, ao classificar e evidenciar o papel de cada etapa, oferece uma alternativa funcional para mapear atividades que muitas vezes passam despercebidas em planejamentos tradicionais. Essa abordagem favorece a criação de um vocabulário comum entre setores — como engenharia, PCP e produção — e contribui para o alinhamento tático das operações.

O uso de metodologias como MRP e CRP, comuns em ambientes MTO, não se mostra eficaz em sistemas ETO devido à ausência de previsibilidade e à alta variabilidade dos projetos. Conforme Adrodegari et al. (2015), há uma lacuna metodológica significativa para gerenciar fluxos produtivos sob encomenda. Nesse cenário, o uso de sistemas puxados, como os fundamentados na Teoria das Restrições (TOC) e no método Drum-Buffer-Rope (DBR), tem sido sugerido como alternativa robusta. Estudos como o de Cannas et al. (2021) e do modelo proposto por Ghiyasinab et al. (2021) indicam que o controle baseado em gargalos e buffers melhora a performance do Order-to-Delivery (OTD) e reduz o Work-in-Progress (WIP). Complementarmente, a estrutura analítica do MFP possibilita identificar, de forma funcional, quais etapas merecem foco para otimização, mesmo na ausência de dados históricos confiáveis — um desafio comum em ambientes ETO.

Diante das limitações dos métodos tradicionais e da elevada complexidade dos sistemas ETO, o Mecanismo da Função Produção (MFP) apresenta-se como uma estrutura

orientadora capaz de alinhar estratégia, processo e operação. Segundo Shingo (1996), entender a função de cada atividade é o primeiro passo para alcançar a melhoria contínua. A aplicação do MFP permite estruturar o sistema produtivo não por sequências pré-definidas, mas pela lógica funcional de cada operação, promovendo maior flexibilidade e assertividade na tomada de decisão. Para Cannas et al. (2021), essa abordagem não substitui os métodos clássicos de planejamento hierárquico, mas os complementa com uma visão operacional concreta. Além disso, como demonstrado por Ghiyasinab et al. (2021), o uso combinado do MFP com tecnologias como simulações e sistemas inteligentes, fortalece a governança dos fluxos produtivos, criando bases sólidas para lidar com incertezas e personalizações frequentes em ambientes ETO.

### 3 MÉTODO

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados na condução da pesquisa, que se baseia na abordagem de pesquisa-ação. Serão descritas as etapas que orientaram a investigação conforme mostrado na Figura 7 e, posteriormente, detalhado o modelo de trabalho aplicado na empresa estudada, com foco na implementação do Mecanismo da Função Produção (MFP) em um ambiente *Engineer-to-Order* (ETO).

#### 3.1 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia adotada neste estudo é a pesquisa-ação, uma abordagem que se caracteriza por envolver diretamente o pesquisador no contexto em que o problema ocorre, atuando de forma cooperativa e participativa com os envolvidos (Thiollent, 2007). Esse método visa a transformação da realidade por meio de uma intervenção planejada e acompanhada, em que a produção de conhecimento guia a prática e, simultaneamente, a modificação da realidade ocorre como parte do próprio processo de pesquisa conforme mostrado na Figura 7 (Miguel, 2012).

Essa abordagem é especialmente adequada para ambientes industriais que demandam melhorias práticas e, ao mesmo tempo, buscam gerar conhecimento científico aplicável, pois permite obter informações que seriam de difícil acesso por outras metodologias, ampliando a base de conhecimento sobre situações específicas (Coughlan et al., 2002).

Nessa perspectiva, o pesquisador, por meio da observação participante, atua como agente de mudança, interferindo no objeto de estudo com o duplo objetivo de resolver um problema real e contribuir com o avanço teórico e prático da área (Thiollent, 2007; Franco, 2005). Assim, a pesquisa-ação configura-se como um caminho metodológico que não apenas promove a transformação do ambiente estudado, mas também estabelece as bases para a aplicação dos conceitos discutidos nos capítulos seguintes.

Figura 7 – Ciclo da Pesquisa-ação.



Fonte: Miguel (2012)

### 3.1.1 Diagnóstico da situação atual

Nesta fase de Diagnóstico da Situação Atual, que se alinha com as etapas iniciais de uma pesquisa-ação, realiza-se o mapeamento inicial dos processos produtivos da empresa (Miguel, 2012). O objetivo central é identificar falhas, gargalos, interrupções e lacunas de padronização, que são desafios típicos em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO) (Gosling et al., 2009; Cannas et al., 2021). Problemas comuns encontrados incluem a falta de coordenação global entre vendas e produção para as datas de entrega, a gestão reativa de gargalos e a complexidade dos processos, muitas vezes sem padronização ou sequenciamento lógico bem definido (Ghiyasinab et al., 2021).

A coleta de dados deve ser conduzida por meio de observações dos participantes — uma característica essencial da pesquisa-ação que envolve o pesquisador diretamente no contexto do problema (Miguel, 2012; Thiollent, 2007) — complementada por entrevistas informais com operadores e análise documental, com o propósito de aprofundar a compreensão do fluxo de material e associar dados a processos e famílias de produtos específicos (Junge et al., 2023).

Este processo permite compreender o funcionamento do sistema de produção atual e localizar oportunidades de melhoria no fluxo (Ferronato, 2013), ao identificar os desafios internos da empresa e as consequências resultantes, como otimização local, produção iniciada sem especificações completas do cliente e altos níveis de estoque em processo (Work-in-Process – WIP) (Cannas et al., 2021). Esses elementos fornecem subsídios essenciais para a

etapa seguinte, na qual serão aprofundadas as análises sobre os gargalos operacionais e os caminhos possíveis para sua mitigação.

### **3.1.2 Planejamento das ações de melhoria**

No momento seguinte da pesquisa, identificado como Etapa 2 – Planejamento das Ações de Melhoria, parte essencial do ciclo da pesquisa-ação (Miguel, 2012; Thiollent, 2007), os objetivos estratégicos da intervenção devem ser definidos com base nos dados levantados durante o diagnóstico inicial. A priorização deve focar nos pontos mais críticos observados em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), como a ausência de coordenação entre vendas e produção, a gestão reativa de gargalos e a complexidade dos processos sem padronização ou sequenciamento lógico bem definido — fatores que levam à otimização local e ao acúmulo de estoque em processo (Cannas et al., 2021; Ghiyasinab et al., 2021).

Essa etapa envolve a elaboração de um plano de ação preliminar. Em empresas ETO que buscam implementar um modelo de produção puxada, esse plano pode incluir a definição de grupos de máquinas, o agrupamento de produtos por famílias, a medição e revisão contínua dos tempos de espera, processamento e transporte, e uma previsão de capacidade mais robusta (Cannas et al., 2021; Adrodegari et al., 2015). Adicionalmente, a identificação dos recursos necessários e o alinhamento estratégico com as lideranças organizacionais são fundamentais para garantir que as propostas possam promover a otimização global e a adequada utilização do gargalo do sistema (Ghiyasinab et al., 2021).

Ao articular a resolução de um problema prático com a produção de conhecimento aplicável à realidade de sistemas ETO, essa fase reforça o caráter interventivo e científico da pesquisa-ação (Miguel, 2012). Tal abordagem contribui para consolidar os fundamentos da intervenção proposta, aprofundando a análise sobre os elementos críticos do sistema produtivo.

### **3.1.3 Implementação das ações de melhoria**

Durante a Etapa 3 – Implementação das Ações Planejadas, as intervenções propostas na fase anterior devem ser executadas de maneira controlada, respeitando a lógica operacional vigente e as especificidades do ambiente ETO. O objetivo principal deve promover a transição de um modelo tradicional de controle "push" — focado na maximização da utilização dos recursos, mas frequentemente gerador de estoques excessivos (WIP) e longos prazos de entrega

— para um sistema de controle "pull", fundamentado no gerenciamento de gargalos e na sincronização com a demanda real (Shingo, 1996; Cannas et al., 2021).

Entre as ações que devem ser executadas, destacam-se:

- a) Reorganização de layout e redefinição de processos, visando otimizar o fluxo de materiais e a utilização dos recursos disponíveis (Ferronato, 2013; Ghiyasinab et al., 2021).
- b) Testes em áreas piloto com aplicação do controle por gargalos, incluindo a formação de grupos de máquinas, categorização por famílias de produtos, mensuração contínua dos tempos de espera, processamento e transporte, e a criação de uma interface com o setor comercial para definição de datas de entrega mais realistas (Adrodegari et al., 2015; Cannas et al., 2021).
- c) Estabelecimento de regras para liberação de ordens e sequenciamento com base em gargalos, priorizando a estabilidade do fluxo global em detrimento de otimizações locais (Ghiyasinab et al., 2021; Baines et al., 2005).

A participação ativa dos colaboradores deve ser incentivada por meio de reuniões frequentes e treinamentos operacionais. Esse envolvimento direto é coerente com os princípios da pesquisa-ação, nos quais o pesquisador atua de forma colaborativa com os participantes na construção de soluções práticas e na geração de conhecimento científico (Miguel, 2012; Thiollent, 2007). Tal cooperação incentiva o engajamento da equipe e para a consolidação de uma cultura organizacional voltada à identificação e superação das restrições do processo (Goldratt, 1990). Essa postura colaborativa torna-se fundamental para sustentar as mudanças planejadas e garantir a efetividade das ações propostas nas etapas seguintes.

### **3.1.4 Monitoramento e coleta de dados**

A Etapa 4 – Monitoramento e Coleta de Resultados, fase essencial do ciclo iterativo da pesquisa-ação, compreende o acompanhamento sistemático das ações implementadas, garantindo que os resultados obtidos sejam analisados criticamente e utilizados para ajustes contínuos (Thiollent, 2007). Diferentemente de abordagens convencionais, a pesquisa-ação enfatiza que a intervenção não se encerra com a execução do plano, mas prossegue com observação e refinamento constantes (Miguel, 2012).

Durante esta fase, é importante a criação de indicadores-chave alinhados às especificidades do ambiente *Engineer-to-Order* (ETO), tais como:

- d) Lead time de produção, cuja redução é fundamental para aumentar a competitividade em mercados de alta customização (Cannas et al., 2021).
- e) Tempos de movimentação e espera, determinados e atualizados de forma contínua, com o objetivo de identificar gargalos e eliminar ineficiências operacionais (Ferronato, 2013; Ghiyasinab et al., 2021).
- f) Taxas de retrabalho, que podem ser observadas como reflexo da liberação de ordens com informações incompletas, sendo tratadas com foco em qualificação do fluxo e padronização (Adrodegari et al., 2015).
- g) Identificar e controlar gargalos recorrentes, considerados como restrições críticas que limitam o desempenho global do sistema produtivo e, portanto, alvo principal de intervenções de melhoria (Goldratt, 1990; Baines et al., 2005).

O monitoramento contínuo possibilita o levantamento de dados reais e atualizados, fornecendo feedback imediato para ajustes operacionais e táticos. Este ciclo de observação e ação reflete a natureza adaptativa da pesquisa-ação, contribuindo tanto para a resolução prática de desafios — como a redução do Work-in-Progress (WIP) e dos prazos de entrega — quanto para o desenvolvimento de conhecimento aplicável a sistemas ETO, os quais, conforme descrito por Ghiyasinab et al. (2021) e Cannas et al. (2021), apresentam alta variabilidade e baixa previsibilidade. Essa dinâmica reforça a importância de abordagens que conciliem flexibilidade, controle e aprendizado contínuo no ambiente produtivo.

### **3.1.5 Avaliação crítica e reflexão**

A Etapa 5 – Avaliação Crítica e Reflexão representa um momento fundamental do ciclo iterativo da pesquisa-ação, pois consiste na análise dos resultados obtidos, não apenas em termos quantitativos, mas também qualitativos, com foco na aprendizagem organizacional e na retroalimentação para novas ações (Thiollent, 2007; Miguel, 2012). Nesta fase, devem ser sistematizados e interpretados os dados levantados durante o monitoramento da implementação das ações, incluindo ajustes de layout, redefinição de processos e testes do controle de produção baseado em gargalos.

Em paralelo à análise de dados, é importante a realização de feedback direto dos operadores e gestores, com base em discussões estruturadas e reuniões colaborativas, registradas em documento estratégico interno do setor de acesso restrito. Esse retorno dos participantes permite identificar ganhos subjetivos relevantes, como a melhoria na comunicação visual entre setores, maior clareza nas priorizações de ordens de produção e maior engajamento

das equipes nas decisões operacionais (Adrodegari et al., 2015). Por outro lado, também foram identificadas dificuldades persistentes, especialmente no que se refere ao balanceamento de carga entre áreas com diferentes níveis de especialização e à gestão de recursos humanos em contextos de alta variabilidade (Kolisch et al., 2021).

Conforme destacado por Dallasega et al. (2016), a avaliação crítica é essencial em sistemas ETO, pois fornece insumos tanto para a melhoria contínua quanto para a formulação de novos ciclos de aprendizagem. Essa etapa de reflexão sistematizada, aliada ao envolvimento direto dos colaboradores, reforça a lógica participativa da pesquisa-ação e garante que as soluções desenvolvidas sejam ajustadas à realidade dinâmica da organização (Miguel, 2012). Assim, a fase de avaliação não apenas consolida os avanços obtidos, mas também alimenta a resiliência adaptativa do sistema produtivo, fundamental para a gestão eficiente em ambientes de alta customização — preparando o terreno para as ações propostas na sequência deste trabalho.

### **3.1.6 Redefinição e sistematização das práticas**

A Etapa 6 – Redefinição e Sistematização das Práticas encerra o ciclo iterativo da pesquisa-ação, representando o momento em que os aprendizados gerados ao longo do processo são institucionalizados e transformados em práticas permanentes (Thiollent, 2007; Miguel, 2012). Nessa fase, as ações validadas nas etapas anteriores — como os ajustes de layout, a redefinição dos processos e a implementação controlada do método de produção puxada (Pull Production Control) — devem ser consolidadas em procedimentos padrão operacionais (POPs) e integradas ao cotidiano do Planejamento e Controle da Produção (PCP).

Essa sistematização resulta diretamente da reflexão crítica dos resultados e do feedback participativo dos operadores e gestores, que são pilares da abordagem de pesquisa-ação voltada à transformação organizacional com base no conhecimento prático (Adrodegari et al., 2015).

Por fim, a Etapa 6 não marca um encerramento, mas sim um ponto de reinício cíclico, no qual as práticas validadas se tornam a base para novas fases de diagnóstico, planejamento e melhoria. Esse caráter contínuo do ciclo da pesquisa-ação, conforme evidenciado por Thiollent (2007) e Dallasega et al. (2016), assegura que a empresa mantenha sua capacidade adaptativa frente à complexidade e variabilidade dos sistemas ETO. Dessa forma, promove-se uma inovação operacional sustentada teoricamente e validada na prática, fortalecendo a maturidade organizacional ao longo do tempo.

## 3.2 MODELO DE TRABALHO APLICADO NA EMPRESA

Nessa seção é apresentada a descrição da aplicação prática do método.

### 3.2.1 Contextualização da empresa

A empresa analisada nesta pesquisa atua no setor de soluções automatizadas para embalagem industrial. Localizada no Rio Grande do Sul, conta com mais de 100 colaboradores e uma planta industrial de aproximadamente 10 mil m<sup>2</sup>. As informações apresentadas foram obtidas a partir de visitas técnicas e da análise de documentos internos da organização. Com faturamento anual acima de R\$ 100 milhões, a empresa se destaca pelo elevado grau de inovação tecnológica e pelo investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento, oferecendo equipamentos como envolvedoras automáticas e semiautomáticas, aplicadores de filme stretch e sistemas de encaixotamento e envase.

Onde o estudo foi aplicado se adota uma estratégia de produção *Engineer-to-Order* (ETO), em que cada pedido passa por customizações específicas conforme as necessidades do cliente (Schulze et al., 2023). O processo inicia ainda na fase de negociação, com a Engenharia de Aplicações avaliando tecnicamente cada projeto em conjunto com o setor comercial e o cliente. Após a aceitação, a Engenharia de Produto realiza o detalhamento técnico, fornecendo ao PCP os dados necessários para gerar as ordens de produção via MRP, utilizando o sistema ERP próprio.

A estrutura fabril interna contempla processos de usinagem, caldeiraria, montagem e polimento, concentrando uma parte expressiva das atividades produtivas, enquanto as demais etapas são atendidas por fornecedores externos homologados. O elevado número de ordens de produção em paralelo, associado à alta variedade de componentes e à baixa repetitividade, gera complexidade operacional significativa, especialmente no planejamento, na priorização e no sequenciamento das atividades produtivas.

Apesar de sua robusta estrutura, a empresa enfrenta dificuldades relacionadas à ausência de um modelo padronizado para organizar e priorizar as ordens de produção. Muitos processos se tornam descoordenados, gerando gargalos e atrasos, principalmente quando há interdependência entre ordens de montagem e usinagem. Isso impacta negativamente a utilização dos recursos, a visibilidade do fluxo produtivo e a entrega no prazo, além de gerar movimentações desnecessárias e perdas por espera (Schulze et al., 2023).

Diante desse cenário, a empresa analisada foi escolhida como campo de aplicação do modelo baseado no Mecanismo da Função Produção (MFP), com o objetivo de compreender e reorganizar o fluxo real da produção a partir da lógica funcional entre processo e operação, promovendo maior integração entre PCP, engenharia e fábrica, e estruturando indicadores adequados à realidade ETO.

### **3.2.2 Diagnóstico funcional do fluxo de produção**

O diagnóstico do fluxo produtivo atual da empresa analisada evidenciou características típicas de sistemas *Engineer-to-Order* (ETO), como elevada variabilidade de produtos, complexidade de engenharia e ausência de padronização no sequenciamento das ordens de produção (Fortes et al., 2021; Schulze et al., 2023). A análise foi conduzida com base nos princípios do Mecanismo da Função Produção (MFP), buscando compreender o sistema sob a ótica funcional, isto é, considerando a inter-relação entre as operações dentro do fluxo de valor, e não apenas sua disposição departamental.

Atualmente, todos os pedidos passam obrigatoriamente pela engenharia, o que garante a customização, mas também introduz tempos de espera e dependências cruzadas entre projetos (Schulze et al., 2023).

Após o detalhamento técnico, a explosão de materiais pelo MRP gera automaticamente ordens vinculadas a componentes usinados, comprados ou montados, mas sem uma visão global integrada do encadeamento real das operações. Isso faz com que diferentes setores atuem de forma isolada, impactando a sincronia do fluxo.

Outro ponto crítico identificado foi a ausência de um modelo funcional para priorização das ordens de produção. A lógica atual de liberação de ordens se dá por critérios empíricos ou operacionais (ex.: facilidade de usinagem), e não pela interdependência funcional entre operações. Isso leva a casos em que itens são produzidos fora de sequência, gerando estoques em processos elevados (WIP), retrabalhos, e movimentações desnecessárias entre áreas (Fortes et al., 2021).

Essa análise evidenciou que a empresa estudada já apresenta práticas de maturidade organizacional consolidadas, sustentadas por um sistema de produção previamente estabelecido. Tal sistema reflete a existência de fundamentos estruturados em áreas como engenharia, planejamento, manufatura, qualidade e práticas de melhoria contínua, além de iniciativas voltadas ao desenvolvimento das pessoas e à integração de sistemas de informação. Esses elementos demonstram uma orientação organizacional voltada à busca por excelência em

produto, atendimento e desenvolvimento humano, alinhada a abordagens contemporâneas de gestão da produção (Schulze et al., 2023).

Contudo, observa-se que, apesar da presença desses elementos estruturados, o sistema de produção existente ainda não se traduz em um fluxo de produção e logística plenamente integrado, especialmente no que se refere à sincronização entre planejamento e controle da produção, engenharia e manufatura. Essa lacuna reforça a necessidade da aplicação do Mecanismo da Função Produção (MFP) como ferramenta de reorganização funcional, capaz de potencializar a base já existente e direcioná-la para práticas que promovam maior previsibilidade operacional, correta priorização de ordens e redução de desperdícios ao longo do fluxo produtivo (Fortes et al., 2021; Costa et al., 2024).

O diagnóstico também revelou que a falta de visibilidade do andamento das ordens compromete a capacidade do PCP de agir preventivamente. Muitos itens aguardam peças que ainda não foram iniciadas, ou são liberados para produção sem que todas as informações estejam disponíveis, o que gera desperdícios e desorganização no chão de fábrica. Essa realidade foi mapeada a partir de observações diretas, coletadas em reuniões estratégicas do setor, registradas em documento interno da empresa de acesso restrito, e análise de relatórios extraídos do ERP conforme registrado em documento interno da empresa (Empresa estudada, Documento Interno de Planejamento Estratégico do Setor, 2025), permitindo a visualização dos principais pontos de ruptura no fluxo funcional (Costa et al., 2024).

Diante desse cenário, a proposta foi reorganizar o sistema produtivo com base nos princípios do MFP, de modo a representar as relações de precedência entre operações e não apenas sua distribuição física, viabilizando um novo modelo de gestão visual, lógica de priorização orientada por gargalo, e sistematização do fluxo de valor adaptado à realidade ETO da empresa (Costa et al., 2024; Schulze et al., 2023).

### **3.2.3 Objetivos e diretrizes da intervenção com MFP**

Com base no diagnóstico funcional do fluxo produtivo e na análise da realidade organizacional da empresa estudada, foi possível estabelecer um conjunto de objetivos práticos para a intervenção, alinhados à lógica do Mecanismo da Função Produção (MFP) e às necessidades de ambientes *Engineer-to-Order* (ETO). Esses objetivos foram desenhados para atacar os principais pontos críticos identificados na etapa anterior e reorganizar o sistema produtivo a partir da lógica funcional, e não apenas sequencial ou departamental.

Os principais objetivos definidos foram:

Compreender o fluxo real de produção sob a ótica funcional, distinguindo com clareza os conceitos de processo (rede de transformação de valor) e operação (ações localizadas e repetitivas), para garantir que as ordens sejam liberadas com base nas interdependências reais das atividades (Costa et al., 2024).

Reduzir os desperdícios associados a movimentação, espera, retrabalho e antecipação de ordens, integrando os dados de engenharia, PCP e produção por meio de um fluxo visível e rastreável (Schulze et al., 2023; Costa et al., 2024).

Implantar indicadores de desempenho adaptados à lógica ETO, como lead time por família de produto, atraso médio por etapa, e ocupação dos recursos críticos, permitindo decisões baseadas em dados reais (Fortes et al., 2021).

Estimular a integração funcional entre os setores de PCP, engenharia e produção, superando os silos de informação e promovendo o entendimento compartilhado do funcionamento do sistema (Fortes et al., 2021).

Criar um painel visual de acompanhamento do fluxo, com atualização periódica e visibilidade por setor e etapa, apoiando o sequenciamento, a priorização e a antecipação de gargalos (Costa et al., 2024).

Desenvolver um modelo piloto replicável para outras famílias de produtos, permitindo que o aprendizado gerado nesta intervenção seja escalado para outros fluxos produtivos da empresa (Schulze et al., 2023).

Essas diretrizes foram convertidas em ações específicas ao longo dos ciclos de intervenção, como definição de gates de controle, agrupamento funcional de operações, simulação do fluxo via ferramentas de mapeamento e desenvolvimento de dashboards. Essas ações estão descritas e documentadas em registro interno elaborado pela empresa (Empresa estudada, Documento Interno de Planejamento Estratégico do Setor, 2025). O MFP, nesse contexto, passou a atuar como modelo estruturador da intervenção, oferecendo uma linguagem comum entre os setores e uma nova base para o controle da produção sob demanda.

O setor de solda foi escolhido como área piloto por concentrar gargalos significativos e representar um ponto crítico de interdependência entre operações, sendo, portanto, adequado para validar o modelo proposto. A intervenção foi concebida de modo a permitir que o aprendizado gerado em um setor piloto pudesse ser replicado para outras famílias de produtos, consolidando um modelo funcional escalável para diferentes fluxos produtivos da empresa.

### 3.2.4 Aplicação prática: Etapas da intervenção

A aplicação do modelo na organização analisada seguiu um processo cíclico, dividido em seis etapas, conforme os princípios da pesquisa-ação. A atuação foi planejada, executada e monitorada com base em interações contínuas com os colaboradores, respeitando a lógica real do ambiente ETO e tendo o Mecanismo da Função Produção (MFP) como guia para análise e reorganização do fluxo produtivo. As etapas foram:

#### Etapa 1 – Diagnóstico funcional do fluxo produtivo.

Foi realizado o mapeamento do estado atual com foco na distinção entre processos e operações. Observou-se uma liberação de ordens baseada em pressões comerciais, sem considerar os gargalos ou a real disponibilidade das etapas seguintes. A análise permitiu identificar pontos de acúmulo de WIP, desalinhamentos entre engenharia e produção, e a ausência de um sistema estruturado de priorização (Fortes et al., 2021; Schulze et al., 2023).

Verificou-se que a liberação desordenada de ordens faz com que determinados setores recebam um volume excessivo de peças em um curto intervalo de tempo, transformando-os em gargalos momentâneos. Essa sobrecarga ocorre porque diversas ordens chegam simultaneamente, e, na ausência de um sistema de apoio, torna-se inviável administrar de forma eficiente a quantidade de itens que precisam ser processados no mesmo período.

Além disso, constatou-se que muitas ordens são liberadas de forma antecipada ou, em outros casos, com atraso, o que agrava ainda mais o desequilíbrio no fluxo. Diante do elevado volume de ordens e desenhos, os operadores acabam priorizando a execução das peças mais simples ou de fácil acesso, o que gera distorções na sequência produtiva. Esse cenário é intensificado pela atuação limitada do PCP, que não participa diretamente da programação detalhada da manufatura nos setores, reduzindo a efetividade no controle do fluxo produtivo.

#### Etapa 2 – Definição de Objetivos e Diretrizes.

Com base no diagnóstico, foram definidos os objetivos práticos da intervenção (3.2.3), como redução de perdas por movimentação e espera, implantação de indicadores adaptados ao ETO, e maior integração entre setores. Esses objetivos fundamentaram a elaboração de um plano de ação funcional, priorizando fluxos reais e gargalos, e não apenas metas de produção por setor.

O diagnóstico não foi realizado de forma isolada, mas construído em conjunto com colaboradores-chave, como o coordenador da manufatura, a direção e o setor de PCP. Essa participação permitiu validar os pontos mais críticos, priorizar os problemas mais relevantes e assegurar que as propostas estivessem aderentes ao cotidiano da empresa. Todos esses registros

de interação e validação foram consolidados em documento interno da organização (Empresa estudada, Documento Interno de Planejamento Estratégico do Setor, 2025). Além disso, o envolvimento direto da equipe favoreceu o engajamento e ampliou a aceitação das melhorias sugeridas

A formulação das diretrizes do estudo buscou alinhar as necessidades práticas da organização com os objetivos acadêmicos da pesquisa. Para isso, foram definidos indicadores de acompanhamento simples e de fácil aplicação, estruturados a partir de dados já disponíveis no ERP e nos apontamentos da produção. Essa escolha evitou a criação de controles paralelos, reduzindo riscos de resistência operacional e garantindo maior viabilidade de implantação (Fortes et al., 2021; Costa et al., 2024).

#### Etapa 3 – Estruturação do Modelo Piloto com MFP

Após a definição das diretrizes a etapa 3 criou um modelo inicial utilizando o MFP para representar o fluxo real da produção de uma família de produtos (máquinas envolvidoras automáticas). As atividades foram agrupadas funcionalmente e classificadas segundo sua contribuição para o valor do produto. Essa modelagem permitiu definir *gates* (pontos de controle), identificar operações críticas e organizar as ordens com base em sua função no fluxo.

Como intervenção, foi implementada uma melhoria no setor de solda, por meio da criação de um ponto específico para o apontamento das ordens de produção. A partir dessa iniciativa, as ordens passaram a ser organizadas de modo a indicar com clareza quais conjuntos estavam completos e aptos para serem processados, e quais ainda dependiam de componentes em falta. Essa visualização, disponibilizada diretamente no ERP da empresa, possibilitou ao facilitador ter acesso imediato à condição real das ordens, tornando o controle do fluxo mais confiável (Costa et al., 2024).

Com esse novo formato de trabalho, tornou-se possível identificar com maior precisão o número de peças acumuladas e, ao mesmo tempo, a quantidade efetivamente disponível para processamento. A intervenção reduziu o tempo gasto pelo facilitador na tomada de decisão, eliminando a necessidade de verificações manuais e de buscas físicas nas prateleiras. Além disso, o apontamento estruturado aproximou os operadores da lógica do MFP, fortalecendo a organização do fluxo e ampliando a integração entre o PCP e a manufatura, especialmente na programação do setor de solda.

#### Etapa 4 – Execução das Ações em Área Piloto.

As primeiras intervenções concentraram-se no setor de solda, onde foram aplicados ciclos curtos de teste e ajuste. Nessa etapa, foram realizadas melhorias no layout do espaço e na forma de organização das ordens, com destaque para a criação de dashboards visuais que

permitiram maior clareza sobre quais conjuntos estavam prontos para processamento. A liberação das ordens deixou de ocorrer de maneira indiscriminada e passou a considerar a real disponibilidade de componentes e a carga de trabalho do setor, evitando liberações prematuras que anteriormente geravam acúmulo desnecessário de peças e aumento de WIP (Costa et al., 2024; Schulze et al., 2023).

No setor de solda, a reorganização permitiu acompanhar com maior precisão a utilização dos recursos, criando condições para monitorar a taxa de trabalho e identificar desvios. Esse controle facilitou a tomada de decisão do coordenador quanto à realocação de mão de obra entre setores, bem como o planejamento de folgas e férias sem comprometer a continuidade do fluxo. Assim, o monitoramento contínuo contribuiu não apenas para estabilizar o setor, mas também para aumentar sua flexibilidade operacional.

Os dados coletados demonstraram melhorias consistentes nos tempos de movimentação e na redução de perdas por espera. A disponibilização antecipada dos conjuntos aos soldadores possibilitou maior previsibilidade no dia a dia, tornando a programação mais ágil e organizada. Além disso, o lead time de entrega foi reduzido, pois o sistema passou a priorizar a liberação de conjuntos com menor prazo de entrega, substituindo a prática anterior de trabalhar com o primeiro item disponível. Essa mudança fortaleceu a confiabilidade do fluxo produtivo e gerou ganhos diretos no atendimento ao cliente.

#### Etapa 5 – Monitoramento de indicadores e Feedback

Foram acompanhados indicadores como lead time, WIP por agrupamento de máquinas, tempo médio de espera no setor de solda. Nessa área, os apontamentos implantados permitiram medir de forma mais precisa a disponibilidade real dos conjuntos e identificar atrasos causados por liberações incompletas. Além disso, reuniões periódicas com operadores e supervisores possibilitaram validar a aplicabilidade dos indicadores no dia a dia, garantindo que as decisões estivessem alinhadas à prática operacional. O uso do MFP foi essencial para evidenciar operações que não agregavam valor no fluxo da solda e serviu como base para ajustes nas rotinas de priorização e liberação (Fortes et al., 2021; Costa et al., 2024).

A implantação do ponto de apontamento e a utilização de indicadores visuais facilitaram a identificação das ordens completas e aptas para processamento, reduzindo dúvidas sobre prioridades e eliminando a dependência de verificações manuais. Esse ganho de transparência aumentou o engajamento da equipe, que passou a ter maior autonomia no planejamento das atividades diárias e na coordenação do fluxo de trabalho, reforçando o alinhamento entre o PCP e o chão de fábrica.

Apesar dos avanços, ainda permanecem desafios a serem enfrentados. Mesmo com o melhor alinhamento na alocação das peças aos recursos corretos, o setor continua sujeito às dificuldades decorrentes da alta variabilidade dos materiais no momento da chegada. O instrumento de leitura implementado atuou sobre o desalinhamento identificado no setor de solda, contribuindo para uma melhor compreensão da disponibilidade de capacidade produtiva nesse contexto específico. A visualização mais estruturada das horas de solda disponíveis permitiu ao Planejamento e Controle da Produção (PCP) ampliar a precisão na leitura da capacidade efetivamente disponível, criando condições para aprimorar a programação e subsidiar futuras iniciativas de padronização em outros setores com características semelhantes (Schulze et al., 2023).

#### Etapa 6 – Consolidação e Replicabilidade.

Com os resultados positivos obtidos, o modelo foi documentado e sistematizado em Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) de acesso restrito, garantindo que as práticas validadas não se perdessem com o tempo. A experiência no setor de solda, utilizada como piloto, demonstrou a eficácia da metodologia para organizar o fluxo sob encomenda e orientado à função, criando maior previsibilidade e reduzindo desperdícios. A partir dessa validação, a empresa iniciou a replicação do modelo para outras famílias de produto, adaptando o MFP às particularidades de cada linha e fortalecendo o alinhamento estratégico entre PCP, manufatura e logística (Schulze et al., 2023; Fortes et al., 2021).

A consolidação do trabalho proposto representou um avanço no alinhamento interno da empresa e um passo importante para a maturidade organizacional, em um momento de aprendizagem coletiva. A participação ativa de operadores e gestores reforçou essa cultura, evidenciando a relevância da melhoria contínua e estimulando o uso de novas ideias e ferramentas para apoiar a tomada de decisão. Dessa forma, o processo tornou-se mais previsível, integrado e sustentável, fortalecendo a capacidade da organização de lidar com ambientes de alta variabilidade.

Por fim, o modelo aplicado não deve ser entendido como um encerramento, mas sim como ponto de partida para novos ciclos de pesquisa-ação. A partir dessa base consolidada, é possível replicar as práticas para outros setores, ampliando a capacidade de controle em cenários de alta variabilidade de peças e ordens de produção. Esse movimento contribui para o fortalecimento do aprendizado coletivo, promovendo uma padronização mais robusta e consolidando a cultura de melhoria contínua dentro da organização (Schulze et al., 2023).

### 3.2.5 Considerações finais do modelo aplicado

A aplicação do modelo baseado no Mecanismo da Função Produção (MFP) no ambiente *Engineer-to-Order* (ETO) na empresa estudada demonstrou a viabilidade de utilizar uma abordagem funcional para compreender e reorganizar o fluxo produtivo em contextos de alta variabilidade. Por meio dos ciclos iterativos da pesquisa-ação, foi possível transformar o diagnóstico inicial (Etapa 1) em diretrizes práticas (Etapa 2), estruturadas e testadas em área piloto (Etapas 3 e 4), monitoradas por indicadores específicos (Etapa 5) e consolidadas em práticas replicáveis (Etapa 6).

O modelo permitiu que os fluxos deixassem de ser tratados apenas como sequências de atividades operacionais e passassem a ser analisados de forma integrada, evidenciando relações de interdependência entre setores como engenharia, PCP e produção. Essa visão funcional, construída a partir da modelagem do MFP, foi essencial para identificar gargalos, eliminar desperdícios e propor uma lógica de priorização baseada na capacidade produtiva real, substituindo a prática anterior de metas locais e desconectadas do todo.

Além disso, a introdução de painéis visuais, indicadores adaptados à lógica ETO e regras de liberação alinhadas à disponibilidade de recursos favoreceu a tomada de decisão em tempo real e aumentou a transparência nas relações entre os setores. A organização funcional dos conjuntos e o monitoramento contínuo dos gargalos resultaram em maior previsibilidade nos processos e na redução de perdas relacionadas à espera, movimentação, retrabalho e antecipação indevida da produção (Costa et al., 2024; Fortes et al., 2021).

Como resultado, a experiência de aplicação do MFP no setor de solda — utilizado como piloto — não apenas contribuiu para a resolução de problemas práticos enfrentados pela empresa analisada, como também reforçou o potencial do MFP como uma ferramenta estruturadora em ambientes ETO. A replicação do modelo para outras linhas de produto, ainda em andamento, evidencia que sua lógica pode ser adaptada a diferentes contextos, ampliando o alcance e a robustez dos ganhos obtidos (Schulze et al., 2023; Fortes et al., 2021).

Conclui-se, portanto, que a integração entre teoria e prática, proporcionada pela pesquisa-ação, foi decisiva para o sucesso do modelo proposto. O trabalho gerou contribuições diretas para a realidade operacional da empresa e, ao mesmo tempo, avanços teóricos ao evidenciar a aplicabilidade do MFP em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), marcados por alta customização e complexidade (Fortes et al., 2021; Schulze et al., 2023).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE

Este capítulo apresenta a aplicação prática da pesquisa-ação desenvolvida na empresa objeto de estudo, tendo como foco o setor de solda, definido como área piloto para implementação do modelo proposto. A partir da fundamentação teórica abordada nos capítulos anteriores — que explorou os princípios do Mecanismo da Função Produção (MFP), o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) e as características dos sistemas *Engineer-to-Order* (ETO) —, este trabalho teve como foco a compreensão e a intervenção no fluxo produtivo real, com a identificação de desperdícios, gargalos e oportunidades de melhoria. Nesta etapa, são apresentados o diagnóstico da situação atual, as ações corretivas implementadas e a análise dos resultados obtidos, evidenciando como a integração entre PCP, manufatura e sistemas de informação contribuíram para aumentar a rastreabilidade, reduzir o WIP e aprimorar a fluidez do processo produtivo.

#### 4.1.1 Situação atual do setor de solda

A área piloto definida para aplicação do estudo foi o setor de solda, uma área crítica dentro do fluxo produtivo da empresa, caracterizada por alta variabilidade de itens, múltiplos pontos de entrada de materiais e ausência de um sistema padronizado de endereçamento. Atualmente, observa-se um acúmulo expressivo de ordens de produção em processo e uma chegada desordenada de materiais, que resulta em congestionamento físico e dificuldade de rastreabilidade, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Prateleiras de alocação de Itens.

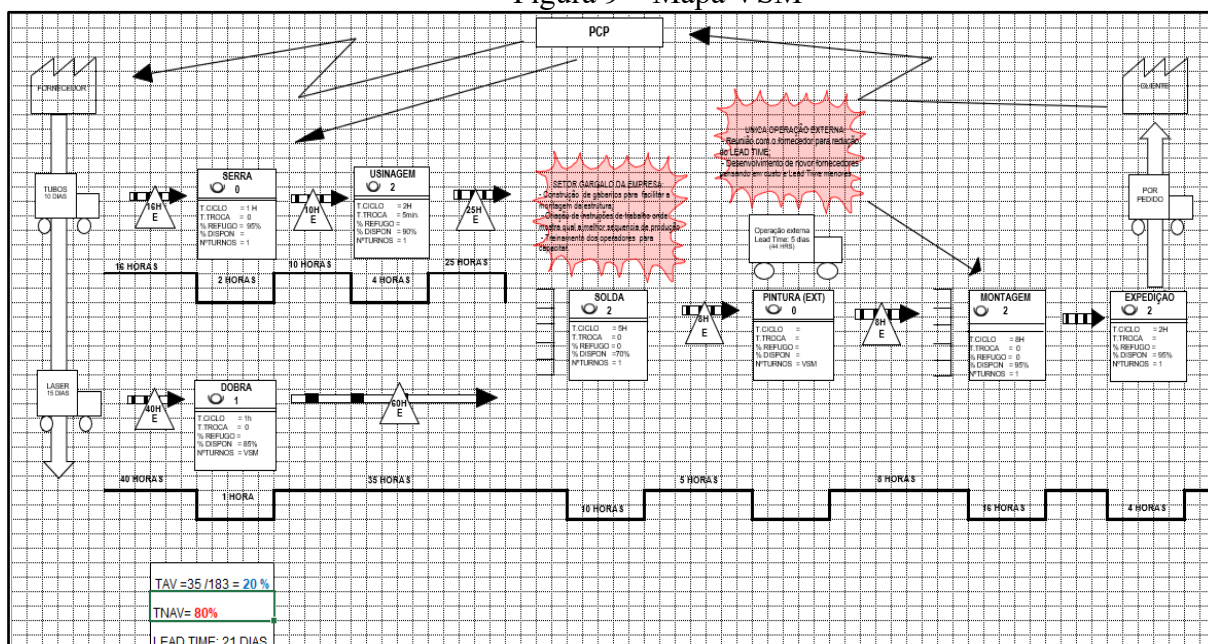


Fonte: Empresa estudada (2024).

Além disso, a ausência de um controle de localização e apontamento sistematizado impede a rastreabilidade adequada dos itens alocados, dificultando a identificação do status de cada ordem. Essa situação gera retrabalhos recorrentes, uma vez que parte da equipe precisa interromper suas atividades para procurar componentes ou subconjuntos específicos, mesmo havendo peças disponíveis em estoque. Tal cenário é comum em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), nos quais a customização e a complexidade de projetos aumentam a variabilidade e reduzem a previsibilidade dos fluxos (Adrodegari et al., 2015; Gosling et al., 2009).

O mapeamento preliminar do fluxo feito em um dos itens, representado na Figura 9 – VSM do estado atual, evidencia longos tempos de fila e espera entre a chegada dos materiais e o início da montagem dos kits de solda. Esse gargalo é acentuado pela ausência de um sistema de priorização visual e pela falta de coordenação entre PCP e chão de fábrica, o que leva a períodos de ociosidade de recursos humanos e equipamentos. De acordo com Stevenson et al. (2005), a carência de mecanismos claros de controle e nivelamento da carga de trabalho é uma das principais causas de ineficiência em ambientes sob encomenda.

Figura 9 – Mapa VSM



Fonte: Empresa estudada (2024).

Essa condição também foi identificada no estudo anterior realizado em parceria com o SENAI-RS em 2022, que buscou identificar os principais desperdícios do processo de soldagem. O diagnóstico apontou a chegada desordenada de materiais como uma das principais fontes de perdas por espera e movimentação, conforme proposto por Junge et al. (2023), ao enfatizar que em projetos ETO mais de 50% das atividades observadas não agregam valor ao cliente.

Nesse contexto, o setor de solda foi selecionado como área piloto do projeto por apresentar características frequentemente associadas a ambientes de elevada complexidade operacional e variabilidade de demanda, com múltiplas interfaces entre engenharia, almoxarifado e chão de fábrica. A análise dessa área permite compreender como a ausência de mecanismos formais de padronização e sincronização entre os fluxos logístico e produtivo pode, em sistemas *Engineer-to-Order* (ETO), influenciar o desempenho global da produção e contribuir para o aumento dos níveis de Work in Process (WIP), conforme discutido por Brachmann et al. (2021), que destacam a relevância da flexibilidade de recursos e da coordenação multiprojeto nesses ambientes.

Dessa forma, o diagnóstico situacional apresentado neste capítulo representa a fase inicial do ciclo de pesquisa-ação, fornecendo subsídios para a definição de diretrizes e estruturação de um modelo piloto de fluxo. As etapas subsequentes buscarão demonstrar como a aplicação dos princípios do Mecanismo da Função Produção (MFP) e do Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) podem contribuir para a redução do tempo de atravessamento, aumento da rastreabilidade e melhor integração PCP–produção.

#### **4.1.2 Aplicação das melhorias no setor de solda**

Com base nas análises apresentadas na seção anterior, foi possível identificar um conjunto de ações imediatas e estruturais voltadas à redução de desperdícios, aumento da rastreabilidade dos materiais e melhoria da comunicação entre os setores envolvidos. Essas iniciativas estão alinhadas aos princípios do Mecanismo da Função Produção (MFP), que enfatiza a integração sistêmica entre os fluxos físico, informacional e decisório, e aos fundamentos do Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM), utilizados para guiar a transição do estado atual para o estado futuro.

A seguir, o Tabela 2 apresenta uma síntese das principais ações propostas, seus objetivos e resultados esperados, servindo como base para a implementação do modelo piloto no setor de solda.

Tabela 2 – Ações implementadas e resultados esperados

<b>Ação</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resultado Esperado</b>	<b>Horizonte de Aplicação</b>
Alocação de profissional do PCP no setor de manufatura	Integrar planejamento e execução	Redução de esperas e maior acuracidade de informações	Imediato
Área de triagem de materiais	Organizar fluxo de chegada	Redução de movimentação e acúmulo	Curto prazo
Etiquetas e endereçamento no ERP	Rastreabilidade e controle digital	Eliminação de perdas e retrabalhos	Médio prazo
Reporte sistemático de itens	Atualização e rastreabilidade em tempo real	Agilidade no fechamento de ordens e integração de fluxos	Contínuo
Dashboards de acompanhamento	Apoiar a tomada de decisão e eliminar procura de itens	Aumento da visibilidade do processo e agilidade na priorização dos kits de solda	Curto a médio prazo

Fonte: Empresa estudada (2024).

As principais ações implementadas e planejadas foram as seguintes:

- a) Alocação de um profissional do PCP no setor de manufatura.

A presença direta de um representante do Planejamento e Controle da Produção (PCP) na área de solda, remanejado para atuação dedicada e permanente no setor, possibilitou um acompanhamento contínuo do andamento das ordens, contribuindo para maior sinergia entre o planejamento e a execução. Essa medida reduziu o tempo de resposta frente a desvios de prioridade e ampliou a confiabilidade das informações de status de produção. Conforme destacado por Adrodegari et al. (2015), a integração entre os níveis tático e operacional é essencial para mitigar os efeitos da variabilidade e assegurar coerência entre os planos e a realidade fabril.

Além de monitorar o cumprimento dos prazos das ordens de produção, o profissional foi responsável por apoiar o fluxo operacional como um todo, identificando falhas decorrentes da falta de materiais, organizando filas de produção e priorizando itens de maior complexidade ou urgência. Essa atuação direta permitiu que os operadores mantivessem o foco exclusivo na execução das atividades de solda, reduzindo deslocamentos, tempos de procura por peças e interrupções no trabalho. O resultado foi um ambiente mais organizado, com maior fluidez entre as etapas e melhor alinhamento entre o planejamento e o chão de fábrica.

- b) Criação de um ambiente físico específico para recebimento e triagem de materiais.

Foi estruturada uma área destinada à alocação inicial de componentes que chegam de forma não programada, permitindo um fluxo de triagem antes da destinação final para cada posto de solda. Essa ação reduziu o número de movimentações desnecessárias e de acúmulos

intermediários, aumentando a visibilidade dos itens em processo, conforme mostrado na Figura 10. Segundo Junge et al. (2023), a clareza na definição dos pontos de fluxo e o gerenciamento visual são práticas Lean eficazes para eliminar desperdícios de transporte e espera.

Figura 10 – Prateleira de Alocação de Itens com endereçamento

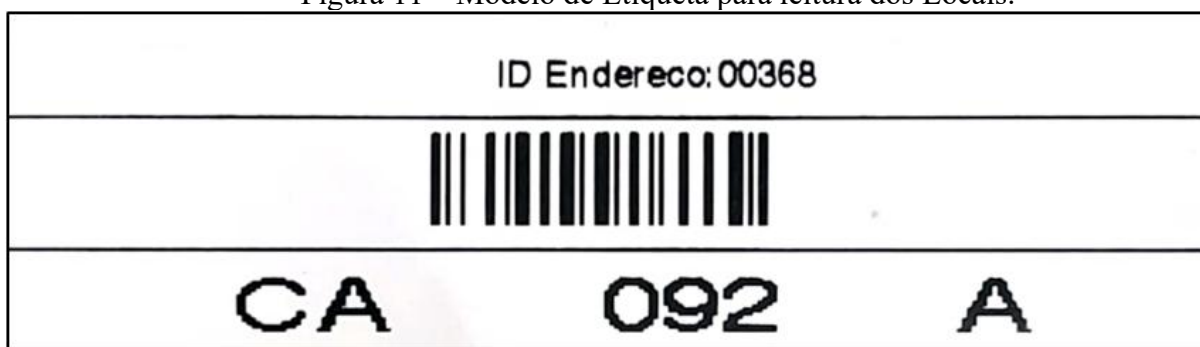


Fonte: Empresa estudada (2024).

c) Criação de etiquetas de identificação e cadastro de locais no ERP.

Foi implementado um sistema de endereçamento interno, integrando o chão de fábrica ao ERP corporativo, conforme demonstrado na Figura 11. Cada local de armazenamento passou a possuir um endereço físico padronizado, identificado por meio de uma etiqueta permanente fixada na prateleira, a qual indica o setor, a estante e a prateleira onde o item foi alocado. Essa estrutura permitiu a rastreabilidade digital do deslocamento dos itens a partir da associação entre o endereço físico e os registros no sistema. Como resultado, tornou-se possível a geração de indicadores de Work in Process (WIP) por local, bem como o aumento da acuracidade das informações relacionadas à localização e ao status dos itens ao longo do fluxo produtivo. De acordo com Stevenson et al. (2005), a digitalização e a visibilidade das informações são fatores determinantes para o sucesso dos sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) em ambientes sob encomenda.

Figura 11 – Modelo de Etiqueta para leitura dos Locais.



Fonte: Empresa estudada (2024).

d) Reporte dos itens concluídos.

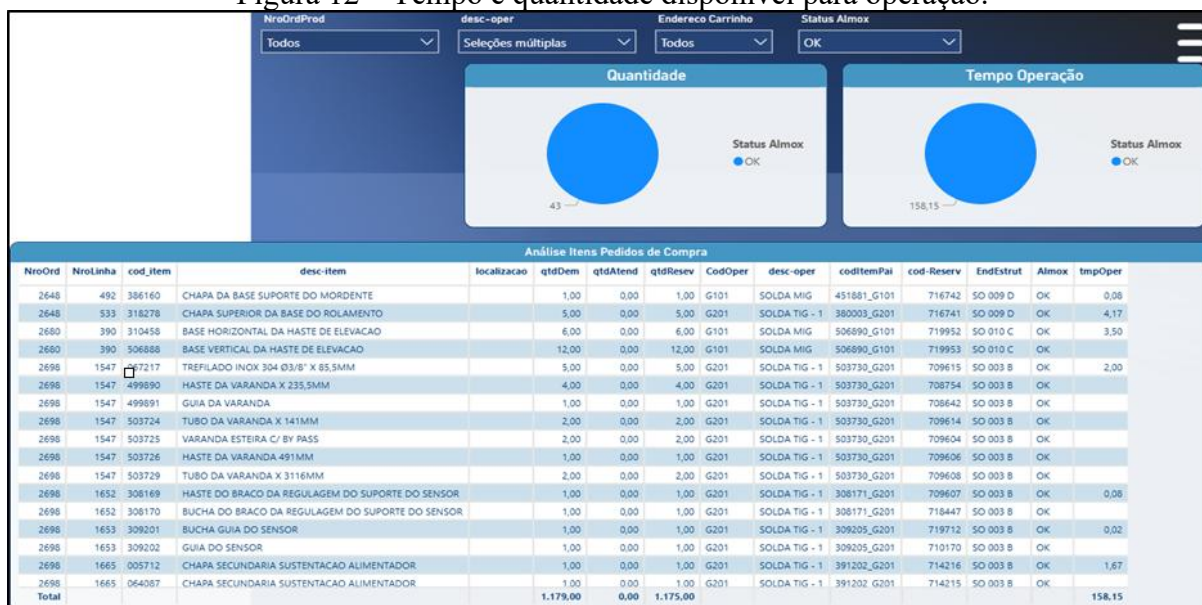
A última etapa consistiu na padronização do apontamento final de peças e subconjuntos diretamente no ERP, representando a conclusão real do processo produtivo. Essa prática garante a atualização imediata do status das ordens e elimina dúvidas sobre o destino ou a conclusão dos itens. O reporte passou a ser responsabilidade conjunta do operador e do colaborador do PCP alocado na área, reforçando a integração entre o fluxo físico e o informacional.

Além de registrar a conclusão das peças, o reporte gera dados que sinalizam a disponibilidade dos itens para a próxima operação, permitindo que o setor de montagem dos kits identifique quais componentes já estão prontos e onde estão alocados. Como muitos kits são compostos por diversos subitens, essa visibilidade facilita o planejamento das próximas etapas, reduzindo o tempo de busca e de espera entre processos. Assim, o reporte consolidou-se como um elo essencial de comunicação entre as áreas, promovendo rastreabilidade e fluidez no fluxo produtivo.

e) Criação de Dashboards para apoio a tomada de decisão.

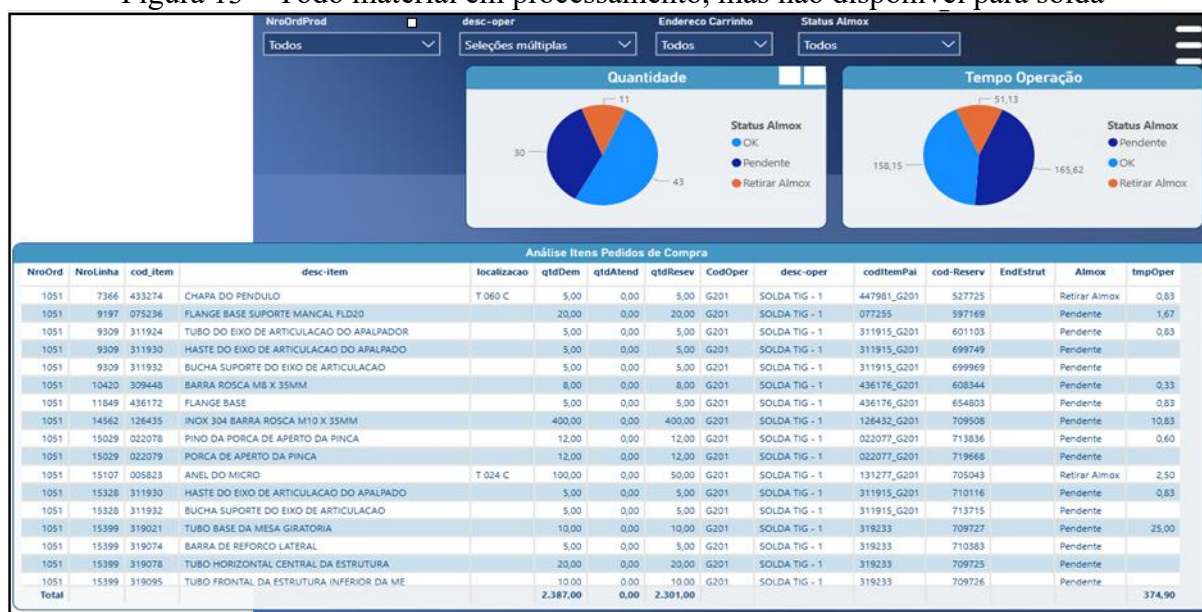
Com base nas informações coletadas por meio das leituras dos itens e reportes realizados no ERP, foram desenvolvidos dashboards gerenciais para auxiliar a tomada de decisão e eliminar a necessidade de procura manual de materiais. Conforme ilustrado nas Figuras 12 e 13, esses painéis apresentam indicadores em tempo real que mostram a quantidade de horas de produção já disponíveis para solda, o número de itens prontos e a localização exata de cada componente. Essa visualização integrada facilitou a identificação dos kits de solda completos, agilizando o processo de separação, priorização e liberação das ordens de produção, além de aumentar a transparência e o controle do fluxo produtivo.

Figura 12 – Tempo e quantidade disponível para operação.



Fonte: Empresa estudada (2024).

Figura 13 – Todo material em processamento, mas não disponível para solda



Fonte: Empresa estudada (2024).

Essas ações em conjunto visam a construção de um sistema híbrido de controle puxado, em que a visibilidade e o apontamento em tempo real permitem antecipar gargalos e balancear a carga de trabalho, conforme preconizado por Brachmann et al. (2021) no contexto de planejamento flexível e multiprojeto em ambientes ETO.

## 4.2 DISCUSSÃO

Conforme destacado por Mathew et al. (2023), a extrapolação de tempos e custos decorrente da falta de um fluxo estruturado em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO) gera impactos significativos na satisfação do cliente, muitas vezes imensuráveis e difíceis de recuperar. A elevada variabilidade e a complexidade intrínseca desses sistemas afetam diretamente o cumprimento de prazos e a confiabilidade da produção, tornando o planejamento e a coordenação atividades críticas.

Nesse contexto, autores como (Mathew et al., 2023; Schulze et al., 2023; Braglia et al., 2024) reforçam que a melhoria do fluxo produtivo depende não apenas da eficiência técnica, mas também da capacidade de aprendizagem organizacional. A promoção de uma cultura na qual o operador possa aprender com os erros e aprimorar continuamente suas práticas contribui para entregas mais eficientes, inovadoras e consistentes. Essa visão se alinha aos princípios do Lean Manufacturing, em especial ao Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM), que, apesar de concebido para ambientes repetitivos, pode ser adaptado para a identificação de gargalos, retrabalhos e desperdícios em fluxos complexos e variáveis.

Segundo Schulze et al. (2023) e Braglia et al. (2024), essa adaptação é fundamental, pois a alta customização e o baixo volume de produção nos sistemas ETO limitam a aplicação direta de ferramentas Lean tradicionais, como o Kanban e o VSM. Embora essas ferramentas ainda sejam mais utilizadas na prática do que as soluções de Indústria 4.0, a integração entre ambas tem se mostrado promissora. Os autores demonstram que tecnologias digitais — como simulação de processos, Internet das Coisas (IoT), gêmeos digitais, big data e inteligência artificial — podem complementar o Lean, oferecendo maior visibilidade e agilidade na tomada de decisão. Ainda assim, as práticas Lean continuam sendo a base mais eficaz para estabilizar e simplificar processos produtivos em ambientes altamente variáveis.

Para mitigar essas limitações, Braglia et al. (2024) propõem a utilização do método Project Cost Deployment (PCD) aliado às tecnologias digitais, permitindo mapear e quantificar perdas ocultas sob uma perspectiva econômica. Essa combinação contribui para priorizar ações de melhoria, reduzir atividades improdutivas e integrar princípios Lean com recursos da Indústria 4.0, resultando em um fluxo mais eficiente e sistematizado. Em consonância, os estudos de Schulze et al. (2023) e Mathew et al. (2023) convergem ao indicar que a padronização e a modularização são fundamentais para criar estabilidade operacional e sustentar a melhoria contínua em ambientes ETO.

Conforme destacado por Love et al. (2025), a gestão de erros (Error Management) surge como uma abordagem alternativa à tradicional prevenção de erros (Error Prevention) em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), especialmente em sistemas produtivos baseados em relações colaborativas. O estudo tem como objetivo compreender como e por que os erros e retrabalhos ocorrem, propondo uma visão em que o erro é tratado como um processo sistêmico, e não como um evento isolado. Essa perspectiva permite identificar gatilhos emergentes, fatores latentes e falhas de comunicação que se acumulam ao longo do tempo e influenciam o desempenho da produção. Por meio da aplicação de um modelo de aliança programática (program alliance), o estudo demonstra que o mapeamento das condições latentes — como pressão por prazos, deriva processual e complacência operacional — torna visível o gerenciamento das perdas e dos retrabalhos, permitindo o desenvolvimento de mecanismos de previsão, enfrentamento e recuperação. Nesse contexto, observa-se uma relação direta com os princípios do Mecanismo da Função Produção (MFP), uma vez que a visibilidade dos erros e das perdas ao longo do fluxo possibilita à organização compreender onde o processo perde eficiência e agir de forma preventiva e adaptativa, fortalecendo sua resiliência operacional.

No entanto, conforme argumentam Karhunen et al. (2024), as dificuldades não se restringem ao chão de fábrica. A ausência de métodos estruturados para compreender as necessidades do cliente nas fases iniciais do projeto — especialmente durante o detalhamento técnico e a elaboração do escopo — gera retrabalhos, atrasos e desperdício de recursos, comprometendo o desempenho global do sistema produtivo. Tecnologias como os *Module Systems* e os *Design Reasoning Patterns* podem apoiar o desenvolvimento inicial e promover o reuso de conhecimento, mas ainda não há um modelo consolidado que integre essas práticas ao processo de engenharia ETO. Essa lacuna reforça a necessidade de aprofundar pesquisas sobre modularização e digitalização, visando reduzir incertezas e melhorar o fluxo de informações entre engenharia e produção.

De forma complementar, Mathew et al. (2023) enfatizam que a natureza volátil e incerta dos ambientes *Engineer-to-Order* (ETO) impõe desafios significativos ao Planejamento e Controle da Produção (PCP). Em contextos nos quais não há um plano de produção padronizado ou previsível, o replanejamento constante torna-se inevitável, exigindo elevados níveis de resiliência e flexibilidade organizacional. No entanto, essa necessidade contínua de adaptação também amplia a complexidade do fluxo produtivo, especialmente em empresas que ainda operam com sistemas ERP fundamentados em modelos determinísticos e tempos fixos, os quais se mostram limitados para lidar com a variabilidade e a incerteza inerentes ao ETO. Diante desse cenário, os autores destacam que o desenvolvimento de ferramentas e métodos de

PCP mais dinâmicos e integrados — aliados à capacidade das pessoas e das equipes de aprender, reagir e ajustar decisões de forma contínua — é fundamental para preservar a confiabilidade das entregas e reduzir os impactos decorrentes das mudanças frequentes de escopo e prioridade.

Em síntese, os estudos recentes (Mathew et al., 2023; Schulze et al., 2023; Karhunen et al., 2024; Braglia et al., 2024) convergem ao destacar que a melhoria do fluxo produtivo em ambientes ETO requer equilíbrio entre flexibilidade, padronização e aprendizado contínuo. A integração entre ferramentas Lean e tecnologias digitais, aliada à modularização do projeto e à capacitação das equipes, representa um caminho promissor para aumentar a previsibilidade e reduzir desperdícios. Esses avanços, no entanto, dependem de uma mudança cultural e sistêmica, na qual engenharia, PCP e manufatura atuem de forma colaborativa, transformando a variabilidade do ETO em uma vantagem competitiva sustentável.

Os estudos e aplicações analisados anteriormente demonstram uma forte compatibilidade com a realidade observada na empresa estudada, especialmente no que diz respeito às dificuldades de convencimento e de investimento em novas tecnologias. Em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), a adoção de soluções digitais avançadas nem sempre é percebida como viável, seja pelo alto custo de implantação, seja pela incerteza quanto à sua real efetividade no fluxo produtivo. Essa condição faz com que ferramentas de aplicação mais simples e acessíveis, como o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) e o Kanban, continuem sendo amplamente utilizadas, ainda que apresentem limitações estruturais por terem sido originalmente concebidas para ambientes de produção seriada e de baixa customização.

Na organização analisada, a premissa de melhoria contínua é sustentada principalmente por ferramentas Lean, sendo o A3 utilizado como instrumento norteador da gestão e do alinhamento entre os setores. No entanto, observa-se um descompasso entre o uso das ferramentas tradicionais e o aproveitamento de recursos tecnológicos mais avançados. A empresa tem buscado formas mais ágeis e eficientes de otimizar o fluxo produtivo, promovendo maior visibilidade, integração e capacidade de resposta às demandas do cliente, mas ainda enfrenta barreiras culturais e financeiras que limitam a implementação plena de tecnologias digitais.

Assim como evidenciado por Mathew et al. (2023), Schulze et al. (2023) e Braglia et al. (2024), a realidade da empresa analisada confirma que, embora as tecnologias da Indústria 4.0 ofereçam um potencial significativo para redução de desperdícios e aumento da flexibilidade, sua difusão em ambientes ETO ainda é restrita, tanto pela complexidade de adaptação quanto pela falta de garantias de retorno mensurável. Dessa forma, a empresa

mantém seu foco na estabilização do fluxo e na melhoria incremental, utilizando ferramentas consolidadas do Lean Manufacturing como base para futuras integrações digitais.

Dessa forma, verifica-se que as pesquisas colaboram parcialmente as proposições teóricas apresentadas pelos autores analisados, especialmente no que se refere à necessidade de adaptar ferramentas Lean e ampliar a integração entre engenharia, PCP e manufatura para o fortalecimento do fluxo de valor em sistemas ETO.

#### 4.3 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

A pesquisa evidencia a importância de compreender o fluxo de valor em ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), demonstrando que a variabilidade e a complexidade produtiva desses sistemas devem ser tratadas como vantagens competitivas, e não como obstáculos. Essa compreensão permite que os gestores entendam o processo produtivo de forma mais ampla e estratégica, percebendo que a eficiência organizacional depende diretamente da estratégia de produção adotada. Ao aceitar a variabilidade como característica inerente de produtos altamente customizados, as empresas passam a incorporar tecnologias e modelos de gestão mais flexíveis, que agilizam o fluxo produtivo e aumentam a capacidade de resposta às necessidades do cliente. Além disso, esse entendimento torna o ambiente de trabalho mais natural para os colaboradores, que passam a desempenhar suas funções com maior clareza e propósito.

Um Planejamento e Controle da Produção (PCP) com visão sistêmica e integração madura entre os setores se torna elemento-chave para a eficiência do sistema. Quando o PCP entende o fluxo e interage ativamente com engenharia, manufatura e demais áreas, consegue atuar de forma estratégica na eliminação de gargalos e desperdícios. Como o replanejamento é constante e as mudanças de prioridade são recorrentes em ambientes ETO, é fundamental que as pessoas envolvidas no processo estejam capacitadas, engajadas e resilientes, participando ativamente da criação e reformulação dos processos. São essas pessoas, com conhecimento técnico e vivência prática, que sustentam a evolução contínua dentro da organização e garantem que as melhorias implementadas se mantenham no longo prazo.

A pesquisa também reforça que a maturidade Lean e o uso de ferramentas como o Mecanismo da Função Produção (MFP), o A3 e o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) estimulam o aprendizado contínuo e a autonomia das equipes. Quando os processos são bem definidos e mensurados, as pessoas passam a compreender melhor seu papel no fluxo de valor e se tornam protagonistas na resolução de problemas, fortalecendo a cultura de melhoria contínua. Esse engajamento cria um ciclo virtuoso, no qual o conhecimento prático e o olhar

analítico se complementam, resultando em entregas mais consistentes e alinhadas às metas da empresa.

A integração entre as práticas Lean e as tecnologias da Indústria 4.0 representa um passo essencial para aumentar a competitividade em ambientes com alta variabilidade. Ter visibilidade em tempo real do fluxo produtivo, apoiando as decisões operacionais e estratégicas, é um diferencial determinante. O alinhamento entre engenharia, PCP e manufatura torna-se, portanto, um fator decisivo para o sucesso da gestão, pois permite responder rapidamente às mudanças de projeto, às demandas do cliente e às restrições de recursos, mantendo a fluidez do processo produtivo.

Por fim, os resultados indicam que a adoção de ferramentas de mapeamento e gestão do fluxo de produção contribui significativamente para a redução de tempos improdutivos, a melhoria do *lead time* e o aumento da satisfação do cliente. Essas práticas fortalecem a margem operacional e consolidam a vantagem competitiva das empresas que atuam em sistemas ETO. Assim, a criação de modelos de produção mais flexíveis, integrados e orientados ao fluxo não apenas aprimora o desempenho interno, mas também posiciona a organização de forma diferenciada frente ao mercado e à concorrência.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo mapear e compreender o fluxo de produção da empresa, identificando gargalos, desperdícios e oportunidades de melhoria em um ambiente *Engineer-to-Order* (ETO). A pesquisa foi conduzida segundo o método de pesquisa-ação, com aplicação prática no setor de solda, definido como área-piloto para o estudo.

O ponto de partida foi a análise de um Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) elaborado em 2022 pela empresa em parceria com o SENAI, cuja revisão permitiu identificar novas necessidades relacionadas à agilidade do fluxo produtivo, à redução de perdas e ao entendimento dos desperdícios presentes no processo.

As etapas da pesquisa seguiram o modelo proposto por Miguel (2012), contemplando seis fases: planejar a pesquisa-ação, coletar dados, analisar dados e planejar ações, implementar ações, avaliar resultados e gerar relatórios e monitoramento. Essa estrutura permitiu acompanhar o processo de forma sistemática e participativa, integrando as percepções dos colaboradores e a observação direta das atividades do setor.

O estudo foi conduzido de forma prática, com base na escuta dos colaboradores, na observação das operações e na identificação das principais dificuldades do fluxo produtivo. Entre as ações implementadas destacam-se a realocação de um colaborador do PCP para o setor de manufatura, a criação de pontos de leitura de dados em locais estratégicos e o desenvolvimento de dashboards para acompanhamento e monitoramento do processo.

O presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver um processo de manufatura integrado a conceitos e práticas enxutas em ambientes de alta customização. Este objetivo foi atendido em sua totalidade, considerando que a aplicação prática ocorreu em um setor-piloto da empresa, e que o uso da ferramenta de acompanhamento implementada continua sendo utilizado pela organização onde o estudo foi desenvolvido.

Para atender ao objetivo geral, o trabalho foi estruturado a partir de três objetivos específicos, os quais são analisados a seguir.

O primeiro objetivo específico foi atendido de forma parcial, tendo como principal ganho a identificação dos desperdícios por meio da observação direta e das conversas com os colaboradores. Essa etapa possibilitou a realização de um teste-piloto, no qual foi desenvolvida uma solução aplicável a outros setores da empresa, contribuindo para a disseminação de boas práticas de melhoria contínua e aprendizado organizacional.

O segundo objetivo específico, que envolveu a análise de novas tecnologias, também foi atendido parcialmente. Observou-se, assim como apontam outros estudos sobre ambientes

*Engineer-to-Order* (ETO), que a compreensão e a incorporação de novas tecnologias representam um desafio constante devido à complexidade e variabilidade dos processos. Ainda assim, o estudo proporcionou uma base preparatória para futuras implantações tecnológicas, fortalecendo a cultura de inovação e digitalização da empresa.

Por fim, o terceiro objetivo específico foi igualmente atendido de forma parcial, pois permitiu compreender o fluxo produtivo da empresa de forma sistêmica, a partir do mapeamento detalhado de um produto representativo. Essa análise contribuiu para o entendimento das inter-relações entre as etapas do processo e serviu de referência para o aprimoramento do planejamento e controle da produção.

Em relação à execução do trabalho, observaram-se benefícios e pontos positivos resultantes da aplicação da pesquisa. A aproximação entre o setor de PCP e a manufatura, promovida pelo deslocamento de um colaborador para atuar diretamente na área de produção, possibilitou um melhor entendimento das dificuldades operacionais e maior suporte à melhoria do fluxo produtivo. A criação de pontos de coleta, triagem e reporte de informações contribuiu para aumentar a clareza e a visibilidade do processo, permitindo decisões mais rápidas e assertivas.

Como ponto de atenção, destaca-se a necessidade de aperfeiçoar o controle sobre a chegada de materiais, bem como reorganizar o espaço físico destinado ao recebimento. Também se identificou a importância de maior rigor na coleta das informações, assegurando a participação e a responsabilidade dos colaboradores na manutenção da organização do ambiente. Esses aspectos reforçam a relevância do comprometimento coletivo para sustentar os ganhos obtidos com o projeto.

Em relação às dificuldades inerentes aos ambientes *Engineer-to-Order* (ETO), o estudo demonstrou-se uma oportunidade relevante para compreender o fluxo de produção em empresas de alta customização. Constatou-se que, sem um controle mínimo sobre o fluxo produtivo, torna-se complexo monitorar e rastrear as peças em processo, o que impacta diretamente o desempenho operacional. Nesses contextos, o nível de estoque em processamento tende a ser elevado, funcionando como mecanismo de amortecimento para garantir a fluidez do abastecimento e a continuidade das operações diante da variabilidade de demandas e prazos.

Como recomendação para estudos futuros, sugere-se expandir o projeto implementado no setor de solda para outras áreas da empresa, avaliando os impactos da padronização do fluxo produtivo em escala organizacional. Além disso, indica-se a investigação sobre a viabilidade de adoção de ferramentas digitais de apoio ao planejamento e controle, como sistemas APS (Advanced Planning and Scheduling) ou softwares de sequenciamento de produção. Por fim,

propõe-se um estudo específico sobre a influência dos níveis de estoque na fluidez operacional em ambientes ETO, visando equilibrar flexibilidade, produtividade e custos de manufatura.

O trabalho contribuiu para fortalecer a integração entre planejamento e chão de fábrica em um sistema de produção ETO. A aplicação dos conceitos enxutos, mesmo em escala piloto, demonstrou potencial para ampliar a eficiência operacional e consolidar uma cultura de melhoria contínua. Como sugestão de melhoria e de estudos futuros, recomenda-se que o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) seja refeito para o mesmo item analisado em parceria com o SENAI em 2022, e que a metodologia seja ampliada para dois ou três outros produtos considerados críticos dentro da empresa. Essa ampliação permitirá reforçar a importância do estudo e validar a aplicabilidade do modelo em diferentes contextos produtivos. Assim, espera-se que os resultados apresentados sirvam de referência para futuras iniciativas voltadas à otimização de fluxos produtivos.

## REFERÊNCIAS

ADRODEGARI, Federico; BACCHETTI, Andrea; PINTO, Roberto; PIROLA, Fabiana; ZANARDINI, Massimo.

Engineer-to-order (ETO) production planning and control: an empirical framework for machinery-building companies.

**Production Planning & Control**, v. 26, n. 11, p. 910–932, 2015.

DOI: 10.1080/09537287.2014.1001808

APS3. **MTO, MTS, ATO, ETO: principais diferenças e quando utilizar**. Disponível em: <https://aps3.com.br/mto-mts-ato-eto-principais-diferencas-e-quando-utilizar/>. Acesso em: 26 maio 2025.

ANTUNES, Junico. **Sistemas de produção**. Porto Alegre: Grupo A, 2011. E-book. ISBN 9788577802494. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577802494/>. Acesso em: 20 set. 2024.

BAINES, Tim; LIGHTFOOT, Howard; WILLIAMS, Steve; GREENOUGH, Rick.

State-of-the-art in lean design engineering: a literature review on white collar lean.

**International Journal of Lean Six Sigma**, 2005.

BHALLA, Swapnil; ALFNES, Erlend; HVOLBY, Hans-Henrik. Tools and practices for tactical delivery date setting in engineer-to-order environments: a systematic literature review.

**International Journal of Production Research**, v. 61, n. 7, p. 2339-2371, 2023.

BRACHMANN, Robert; KOLISCH, Rainer.

The impact of flexibility on engineer-to-order production planning.

**International Journal of Production Economics**, v. 239, p. 108183, 2021.

DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108183

BRAGLIA, Marcello et al. Exploring the relationship between Project Cost Deployment and Industry 4.0 through an industrial application in an Engineer-to-Order environment. **Procedia Computer Science**, v. 232, p. 139-148, 2024.

CANNAS, Violetta Giada; GOSLING, Jonathan. A decade of engineering-to-order (2010–2020): Progress and emerging themes. **International Journal of Production Economics**, v. 241, p. 108274, 2021.

CARON, Franco; FIORE, Antonello. ‘Engineer to order’ companies: how to integrate manufacturing and innovative processes. **International Journal of Project Management**, v. 13, n. 5, p. 313-319, 1995.

Castro, F. M. de, Pacheco, M. dos A. F., & Pinheiro, É. C. N. M. (2023). Indústria 4.0 e Internet Industrial das Coisas – (IIoT): Sistema IoT para Monitoramento e Controle de Sensores e Atuadores Mapeados. **Revista FT**, 27(122). Recuperado de <https://revistaft.com.br/industria-4-0-e-internet-industrial-das-coisas-iiot-sistema-iot-para-monitoramento-e-controle-de-sensores-e-atuadores-mapeados/>

COSTA, Beatriz; VAREJÃO, José; GASPAR, Pedro Dinis. Development of a value stream map to optimize the production process in a luxury metal piece manufacturing company. **Processes**, v. 12, n. 8, p. 1612, 2024.

COUGHLAN, Paul; COGHLAN, David. Action research for operations management. **International journal of operations & production management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DALLASEGA, Patrick et al. Customer-oriented Production System for Supplier Companies in CTO. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 533-538, 2016.

EMPRESA ESTUDADA. **Sistema de Produção: dados internos da empresa**. Processo produtivo interno sigiloso, de circulação restrita – acesso mediante aprovação da empresa, 2025.

EMPRESA ESTUDADA. **Plano de Trabalho PCP 2025**. Documento técnico interno sigiloso, de circulação restrita – acesso mediante aprovação da empresa.

FERRONATTO, Deise. **Análise das perdas no processo em uma empresa metalúrgica através da ferramenta do mapeamento de fluxo de valor**. 2013. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade de Caxias do Sul, Campus Universitário da Região dos Vinhedos, Bento Gonçalves, 2013

FORTES, C. S. et al. Engineering-to-order manufacturing: A criticality analysis of key challenges and solutions based on literature review. **International Journal of Production Economics**, v. 239, n. 108183, 2021.

FRANCO, M. L. P. B. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa, São Paulo**, v. 31, n. 3, p. 483–502, set./dez. 2005.

GHIYASINASAB, Marzieh et al. Production planning and project scheduling for engineer-to-order systems-case study for engineered wood production. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 4, p. 1068-1087, 2021.

GHIYASINASAB, Mohammadreza; CUSWORTH, Michael; KENDALL, Graham. Production planning and project scheduling for engineer-to-order systems: literature review and research agenda. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 54, p. 170–186, 2020.

GOLDRATT, Eliyahu M. **Essays on the Theory of Constraints**. North River Press, 1990.

GOSLING, Jonathan; NAIM, Mohamed M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International journal of production economics**, v. 122, n. 2, p. 741-754, 2009.

HALEVI, Gideon. Master Production Planning. **Industrial Management-Control and Profit: A Technical Approach**, p. 215-232, 2014.

HIGA, Paulo. **Por dentro da fábrica da Dell em Hortolândia (SP)**. 2013. Disponível em: <https://tecnoblog.net/especiais/dell-fabrica-hortolandia/>. Acesso em: 14 dez. 2024.

JASKOWIAK, Caroline Raquele; MENDES, Diego; MARTINS, Ezequiel Dressler; GRACIOLLI, Odacir Deonísio; CRUZ, Renan Morais da. **Avaliação da maturidade Lean nas empresas: uma análise utilizando escalas de medição**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2024, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ABEPRO, 2024. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.14488/ENEGERP2024\\_TCE\\_411\\_2014\\_47232](http://dx.doi.org/10.14488/ENEGERP2024_TCE_411_2014_47232). Acesso em: 23 dez. 2024.

JÜNGE, Gabriele et al. Understanding and eliminating waste in Engineer-to-order (ETO) projects: a multiple case study. **Production Planning & Control**, v. 34, n. 3, p. 225-241, 2023.

KARHUNEN, Vaino Valtteri et al. Supporting Design Reuse in Engineer-to-Order Context: A Systematic Literature Review. DS 130: **Proceedings of NordDesign 2024**, Reykjavik, Iceland, 12th-14th August 2024, p. 521-529, 2024.

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

LOVE, Peter ED et al. Infrastructure engineer-to-order production systems: Drivers, concepts and principles of quality II and implications for research. **Production Planning & Control**, p. 1-25, 2025.

MANESH, Mohammad Fakhar et al. Knowledge management in the fourth industrial revolution: Mapping the literature and scoping future avenues. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 68, n. 1, p. 289-300, 2020.

MATHEW, Ninan Theradapuzha; JOHANSSON, Björn. Production Planning and Scheduling Challenges in the Engineer-to-Order Manufacturing Segment—A Literature Study. **International Journal of Innovation, Management and Technology**, v. 14, n. 3, p. 80-87, 2023.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

OLHAGER, Jan. Strategic positioning of the order penetration point. **International Journal of Production Economics**, v. 85, p. 319–329, 2003.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of intelligent manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. **Lean Institute Brasil**, 2003.

SATYRO, Walter Cardoso et al. Industry 4.0 implementation projects: the cleaner production strategy—a literature review. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 2161, 2023.

SCHMIDT, Reno. **O caso Bruning**. Palestra apresentada na FIERGS, Porto Alegre, 25 out. 2022.

SCHULZE, Felix; DALLASEGA, Patrick. Lean and Industry 4.0 mitigating common losses in Engineer-to-Order theory and practice: an exploratory study. **Flexible services and manufacturing journal**, p. 1-41, 2023.

SEGUINTE TV. **GENERAL MOTORS | Como é por dentro a fábrica do Onix**. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NNKw1WBQKdU>. Acesso em: 14 dez. 2024.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Grupo A, 1996. E-book. ISBN 9788577800995. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577800995/>. Acesso em: 20 set. 2024.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**, 8ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. E-book. ISBN 9788597015386. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597015386/>. Acesso em: 20 set. 2024.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção. 4. ed. São Paulo: Atlas**, 2015.

SPEAR, Steven et al. Decoding the DNA of the Toyota production system. **Harvard business review**, v. 77, p. 96-108, 1999.

STEVENSON, Mark; HENDRY, Linda C.; KINGSMAN, Brian G. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. **International journal of production research**, v. 43, n. 5, p. 869-898, 2005.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International journal of production research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

ZHANG, Caiming et al. Industry 4.0 and its implementation: A review. **Information Systems Frontiers**, p. 1-11, 2021.