

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS GUARAPUAVA  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**FELIPE CESCA PIRES**

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR: ESTUDO DE CASO EM UMA  
INDÚSTRIA METALÚRGICA**

**GUARAPUAVA  
2022**

**FELIPE CESCA PIRES**

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR: ESTUDO DE CASO EM UMA  
INDÚSTRIA METALÚRGICA**

**Value Stream Mapping: case study in a metallurgical industry**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Coordenação de Engenharia Mecânica, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador (a): Prof. Dra. Franciele Bonatto

**GUARAPUAVA  
2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FELIPE CESCA PIRES**

**MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR: ESTUDO DE CASO EM UMA  
INDÚSTRIA METALÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à  
Coordenação de Engenharia Mecânica, como  
requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel  
em Engenharia Mecânica, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29/abril/2022

---

Franciele Bonatto

Doutorado em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

André Luiz Soares

Doutorado em andamento em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

Doutorado em andamento em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**GUARAPUAVA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, e não somente nestes anos como universitário, e sim em todos os momentos de minha vida, sendo sem dúvidas o maior Mestre que alguém poderia conhecer.

Agradeço a minha orientadora Prof. Dra. Franciele Bonatto, pela orientação, apoio, confiança e principalmente por compartilhar sabedoria e dedicação à elaboração deste trabalho.

Agradeço a minha família, pelo amor, incentivo, apoio incondicional e principalmente por serem meu porto seguro, com a certeza de que vocês são parte fundamental em toda minha trajetória.

Estes parágrafos, sem dúvida, ficarão aquém de abordar todas as pessoas que tiveram um papel neste período crucial da minha vida e lamento antecipadamente aqueles que estão ausentes dessas observações, mas tenham a certeza de que seus pensamentos e apreço foram parte crucial deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

## RESUMO

PIRES, Felipe Cesca. **Mapeamento do fluxo de valor: estudo de caso em uma indústria metalúrgica**. 2022. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2022.

A globalização, a concorrência e a disputa cada vez mais acirrada, faz com que as empresas necessitem se atualizar e buscar alternativas para suprir a grande demanda do mercado, para conseguir assim sobreviver frente a grandes concorrentes. Este trabalho tem como objetivo analisar e propor melhorias no fluxo produtivo de uma linha de produção de uma empresa do ramo metalúrgico, que necessita reduzir os custos da produção, aumentar a produtividade e o tempo de processamento da linha de produção estudada, por se tratar de uma parte crucial no faturamento da empresa. Para isto foram aplicados na empresa os conceitos e ferramentas da filosofia *Lean Manufacturing*, principalmente o desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor para a linha de produção estudada. Por ser uma ferramenta da produção enxuta que permite às empresas visualizarem seus desperdícios e buscar melhorias no fluxo de valor, a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor baseia-se em uma pesquisa exploratória na forma de um estudo de caso. Para isso foi necessário, desenvolver o mapa do estado atual da linha de produção, onde foi possível destacar os pontos de falha e identificar as oportunidades de melhorias, para que então fossem sugeridas propostas, como a possibilidade da redução dos tempos de processamento, diminuição dos erros causados por falha humana e redução de outros desperdícios. A aplicação da proposta de melhoria pode gerar resultados positivos, melhorando a organização dos processos e melhorias dos tempos, onde especificamente no processo destacado é possível extrair uma melhor eficiência na execução do mesmo, pelo fato de se ter uma padronização e execução das tarefas, salientando outras possibilidades de melhorias, a qual fica a cargo da empresa em estudo a possibilidade da aplicação e possivelmente estender para os demais processos e família de produto.

**Palavras-chave:** mapa fluxo de valor; indústria metalúrgica; lean manufacturing.

## ABSTRACT

PIRES, Felipe Cesca. **Value stream mapping: case study in a metallurgical industry**. 2022. 59 p. Course Conclusion Paper (Bachelor in Mechanical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Guarapuava, 2022.

Globalization, competition and increasingly fierce competition make companies need to update themselves and seek alternatives to meet the great demand of the market, in order to survive in the face of large competitors. This work aims to analyze and propose improvements in the production flow of a production line of a metallurgical company, which needs to reduce production costs, increase productivity and processing time of the production line studied, because it is a crucial part of the company's revenue. For this, the concepts and tools of lean manufacturing were applied in the company, mainly the development of Value Stream Mapping for the studied production line. As a lean production tool that allows companies to visualize their waste and seek improvements in the value stream, the application of Value Stream Mapping is based on exploratory research in the form of a case study. For this, it was necessary to develop a map of the current state of the production line, where it was possible to highlight the points of failure and identify opportunities for improvement, so that proposals could then be suggested, such as the possibility of reducing processing times, reducing errors caused by human error and reduction of other waste. The application of the improvement proposal can generate positive results, improving the organization of processes and improvements in times, where specifically in the highlighted process it is possible to extract an improvement in efficiency in the execution of the same, due to the fact of having a standardization and execution of the tasks, highlighting other possibilities for improvement, which the company under study is in charge of applying and possibly extending to other processes and product family.

**Keywords:** value stream map; metallurgical industry; lean manufacturing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os sete desperdícios principais segundo Ohno e Shingo.....	15
Figura 2 - Princípios Básicos do Pensamento Enxuto.....	17
Figura 3 - Etapas Iniciais do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor).....	19
Figura 4 - Mapa Atual .....	20
Figura 5 - Mapa Futuro.....	21
Figura 6 - Ícones do Mapeamento e Fluxo de Valor .....	23
Figura 7 - Cálculo do Takt Time .....	24
Figura 8 - Diagrama Metaestável Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	26
Figura 9 - Fluxograma Simplificado Processo de Fundição .....	28
Figura 10 - Processos de Moldagem.....	29
Figura 11 - Organograma da Empresa.....	35
Figura 12 - Fluxograma da Produção .....	36
Figura 13 - Demanda de Produção das Linhas de Produção .....	38
Figura 14 – Fluxograma do Processo de Cura a Frio .....	39
Figura 15 - Mapa do Estado Atual.....	46
Figura 16 - Comparação dos Tempos de Processo com o Takt - Time.....	50
Figura 17 - Nova Comparação dos Tempos de Processo com o Takt-Time .....	54
Figura 18 - Mapa do Estado Futuro.....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sequência da Implementação do Estudo .....	33
Quadro 2 - Descrição Detalhada das Operações Envolvidas no Processo .....	41
Quadro 3 - Desperdícios do Processo.....	47
Quadro 4 - Tempos de Acordo com o Processo .....	48
Quadro 5 - Processo de Colocação de Machos e Insumos .....	51
Quadro 6 – Proposta Melhoria dos Desperdícios .....	52
Quadro 7 - Tempo de Processamento Atualizado .....	53



## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2.REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO .....	13
2.2 LEAN MANUFACTURING.....	14
2.2.1 Desperdícios da produção.....	15
2.2.2 Princípios enxutos .....	16
2.3 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR (MFV).....	18
2.3.1 Mapa atual .....	22
2.3.2 Mapa Futuro .....	23
2.4 FERRO FUNDIDO.....	25
2.5 INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO .....	27
2.5.1 Processos de fundição.....	28
2.5.2 Processos de moldagem.....	29
2.5.3 Cura frio.....	30
<b>3.ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 DEFINIÇÃO DA EMPRESA .....	32
3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	33
3.2.1 Escolha do Fluxo de Valor .....	33
3.2.2 Mapear Estado Atual .....	34
3.2.3 Mapear Estado Futuro .....	34
3.2.4 Propostas de Implementação .....	34
<b>4.RESULTADO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>36</b>
4.1 A EMPRESA .....	34
4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO ESTUDADO.....	36
4.3 FAMÍLIA DE PRODUTO ESTUDADA.....	37
4.4 DESENVOLVIMENTO DO MAPA DE FLUXO DE VALOR .....	38
4.4.1 Análise do Processo Produtivo .....	40
4.4.2 Análise do Fluxo de Produção .....	42
4.5 MAPA ESTADO ATUAL.....	45
4.6 PROPOSTA DE MELHORIA .....	51
4.7 MAPA DO ESTADO FUTURO.....	54
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Ministério de minas e energia através do anuário estatístico do ano de 2021 do setor metalúrgico e do setor de transformação de não metálicos, apresenta a expressiva importância do setor metalúrgico no cenário econômico brasileiro. O setor conta com uma vasta cadeia produtiva dos segmentos ligados à metalurgia, usinagem e produção de manufaturados metálicos, sendo a base de outras atividades relevantes para o país, como a indústria automobilística, construção civil e bens de capital.

Segundo dados do governo federal, o IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) prevê o crescimento da economia brasileira de 4,5% em 2021. Em função desta grande perspectiva e da grande demanda já existente, as empresas do setor metalúrgico devem buscar alternativas para reduzir os desperdícios e consequentemente aumentar sua produtividade, com foco em atender a demanda existente.

Segundo Womack e Jones (2004), os desperdícios são classificados como atividades que consomem recursos, porém não agregam valor ao produto final, podendo assumir diferentes formas, desde problemas envolvendo controle de estoque, equipamentos, infraestrutura, documentos, movimentos e principalmente encontrados no processamento de um produto ou em entradas e saídas desnecessárias de materiais ou trabalho.

Womack e Jones (2004), explicam que uma das maneiras de aumentar a produtividade é a aplicação dos conceitos de mentalidade enxuta, ou sistema Toyota de produção, que além de garantir uma maior eficiência do processo, tem como foco eliminar os desperdícios.

Atualmente, o setor metalúrgico necessita de alta tecnologia, e a implementação de processos altamente tecnológicos geram investimentos pesados para as empresas. Portanto, para permanecerem competitivas, as empresas devem buscar otimizar seus processos, reduzir os tempos de produção de entrega e eliminar os desperdícios.

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é propor melhorias no processo produtivo de uma empresa metalúrgica, através do mapeamento do fluxo de valor.

O estudo foi realizado em uma indústria metalúrgica, situada na cidade de Ponta Grossa, Paraná. A empresa trabalha com a manufatura de peças e atende o mercado interno e externo, e enfrenta problemas com a capacidade de redução de tempo e desperdícios.

Considerando o período do estudo, foi um período difícil para todos, pois o estudo foi realizado durante a pandemia que ocorreu nos anos de 2020 a 2022, contudo não influenciou diretamente no estudo, pelo fato da indústria em estudo ser considerada uma indústria essencial para a economia, não tendo paradas por causa desse motivo.

O estudo será delimitado à proposta de melhorias no fluxo de valor de uma linha de produção de uma indústria metalúrgica, envolvendo todas as atividades do processo desta linha, desde a entrada de matéria prima até a saída do produto final da linha, com isso, o estudo permitirá identificar os desperdícios atrelados ao processo.

Para este caso, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), mostra segundo a literatura um grande potencial de ser eficaz, pois identifica e nos serve como uma ferramenta para a tomada de decisão em relação aos desperdícios decorrentes do processo que geram valor agregado ao produto final.

A utilização do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) expõe o estado atual e descreve as ações a serem tomadas para alcançar as melhorias propostas, porém, não faz parte do trabalho a implantação das melhorias sugeridas.

### 1.1 OBJETIVOS GERAIS

Propor melhorias no processo produtivo de uma empresa metalúrgica através do mapeamento do fluxo de valor.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Mapear o fluxo de valor de uma linha de produção da empresa em estudo.
- II. Identificar possíveis falhas e desperdícios através do mapa atual.
- III. Propor soluções para eliminar os desperdícios identificados e consequentemente diminuir o tempo de produção.
- IV. Apresentar o detalhamento do mapa do estado futuro.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O Brasil como um país emergente, e com extrema capacidade de crescimento, tem se tornado um grande consumidor e exportador de produtos, matérias primas e tecnologias. Com o crescimento de todos os setores, as empresas buscam ter seus processos produtivos cada vez melhores, visando uma maior produção, com menor custo e com o menor tempo de entrega, para que possam se destacar diante da grande competitividade do mercado global.

De acordo com a Associação Brasileira de Fundação ABIFA, em relação ao ano de 2019, as projeções já divulgadas pelos principais setores clientes da fundição e a reação da própria

indústria no segundo semestre de 2020, a expectativa da ABIFA para o exercício 2021 é de crescimento entre 12% e 15%.

Para as empresas poderem se destacar, é necessário, um grande investimento em tecnologia, contudo, existem conceitos e técnicas que auxiliam seus processos produtivos, de maneira que se revise todo o processo, com o objetivo de identificar as atividades desnecessárias que surgem desde a chegada da matéria prima, até a entrega final do produto, agregando assim, valores ou margens lucrativas melhores (WOMACK, 1992).

Como o objetivo das empresas é a produção enxuta, baseada no sistema Toyota de produção, a aplicação do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) torna possível melhorar a eficiência das empresas, e como possui uma linguagem simples e de fácil aplicação, quando aplicada reduz os desperdícios e melhora o tempo de produção (ROTHER e SHOOK, 1998).

Com o conceito de mentalidade enxuta e as ferramentas que compõem este modo de produção, a aplicação no processo produtivo se dá de maneira simples e com baixos investimentos, assim, os resultados e ganhos gerados são significativos e positivos para a empresa, além da eliminação de desperdício e otimização do fluxo do processo de manufatura, uma série de outros benefícios facilitam o conhecimento e o controle do processo produtivo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentada uma revisão literária dos principais conteúdos utilizados como base para este estudo abordando os conceitos principais com o objetivo de obter uma melhoria na compreensão do tema estudado.

### 2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

De acordo com Tubino (2009) os sistemas de produção são definidos como um conjunto de operações que são responsáveis em transformar os insumos em produtos, de acordo com a demanda e a necessidade dos clientes. A eficiência de um sistema de produção é baseada na capacidade de cumprir prazos e objetivos, assim, são definidos planejamentos de longo, médio e curto prazo, para que as exigências dos clientes sejam atendidas.

Os prazos estão diretamente relacionados com as atividades estratégicas, táticas e técnicas operacionais das organizações, com isso a eficácia dos sistemas é diretamente ligada com a entrada e saída e com o alcance das metas.

Henry Ford, com o desenvolvimento do carro chamado Modelo T, revolucionou o setor de produção, principalmente no setor automobilístico, pois devido à crescente demanda por veículos, ele desenvolveu um sistema que ficou conhecido como produção em massa, onde o sistema de trabalho é considerado “empurrado” e os operadores eram especializados e se dedicavam a apenas uma tarefa.

Falar que um sistema é “empurrado”, diz respeito a uma forma de trabalho em que se produz o máximo que puder, nos quais os tipos de produtos são baseados em uma demanda proporcionando uma maior facilidade e ajustes na montagem, movimentação das peças para cada estação de trabalho sem que o operário deixe o local, permitindo assim um grande volume de produção a um custo baixo. (WOMACK e JONES, 2004).

Sobre a perspectiva de uma produção eficiente, para que as empresas se tornem competitivas e se destaquem em seus segmentos, é necessário que atinjam seus objetivos, com um produto com uma qualidade igual ou superior a de seus concorrentes além do custo e o tempo de entrega serem menores. Assim, os sistemas de produção são definidos e adequados ao tipo de produto ou serviço para se possa ter uma melhor eficiência do processo. Os sistemas de produção que são mais utilizados são os sistemas baseados na produção sob encomenda, lotes e produção contínua (TUBINO, 2009).

A produção sob encomenda é comumente utilizada para a fabricação e produção de produtos muito complexos, caros e restritos, que não são comprados em grandes quantidades ou não estão disponíveis no mercado. Neste modelo de produção, após o processo de orçamento ou cotação e aprovação das partes envolvidas é que a empresa iniciará a produção, pois os produtos exigem a manipulação de peças, máquinas e profissionais especializados.

Contudo, a produção sob encomenda pode ser considerada barata, pois é uma produção eficiente, com baixos índices de desperdício e não ficam retidas em estoques, como exemplo, temos desde navios, aviões, edifícios, máquinas e equipamentos feitos sob encomenda, até produtos menores como relógios e joias (CHIAVENATO, 2008).

Na produção baseada em lotes, a quantidade de um produto produzido é limitada, sendo que as unidades de cada lote são dimensionadas de acordo com o volume de vendas previsto para um período de tempo. A produção é feita antes de acontecer a venda ou a encomenda do produto, é um sistema muito utilizado e inclui a maior parte dos produtos utilizados pela população em geral, variando desde carros, eletrônicos e eletrodomésticos até roupas e acessórios (LUSTOSA et al., 2008).

As empresas que adotam o sistema de produção contínua buscam produzir a maior quantidade de produtos no menor tempo possível, além de produzir o mesmo produto por um tempo indeterminado, sem qualquer modificação, com um ritmo acelerado e sem interrupções.

Usualmente são indústrias que trabalham 24 horas, produzem insumos necessários à sociedade ou trabalham com produtos que não podem ou não devem ficar parados, conseqüentemente, é necessária uma grande infraestrutura, logística e estudo, são exemplos, indústrias que produzem bens de consumo, produtos siderúrgicos, papel e celulose, cimento, além de produtos alimentícios, químicos e entre outros (LUSTOSA et al., 2008).

## 2.2 LEAN MANUFACTURING

*Lean manufacturing* ou manufatura enxuta como é traduzido, é uma filosofia de gestão, que teve origem após a segunda Guerra mundial e se baseia no sistema Toyota de Produção, que tem como premissa a eliminação ou redução dos sete tipos de desperdícios. As quais são caracterizadas como atividades que geram custo e não agregam valor ao produto, portanto devem ser eliminados e serão melhor explicadas futuramente neste trabalho (ANTUNES, 2008).

Para isso, se busca uma menor utilização de mão de obra, e equipamentos, para a produção de produtos sem defeitos com o menor tempo possível, buscando aumentar a

capacidade de produção e a melhor satisfação dos clientes, com o objetivo de tornar a empresa cada vez mais competitiva (SHINOHARA, 1988).

O *Lean Manufacturing* pode ser considerado simples, enxuto e direto, contudo, ele é mais do que uma ferramenta, é uma filosofia. Se baseia em hábitos que devem ser aplicados cotidianamente, é basicamente tudo o que concerne a obtenção de materiais corretos, no local correto, na quantidade correta, minimizando o desperdício, sendo flexível e aberto a mudanças.

### 2.2.1 Desperdícios da produção

Segundo Ohno (1997), a eliminação de desperdícios presentes no processo produtivo é a base principal do *Lean Manufacturing*, e em relação aos resultados esperados, é necessária a apresentação de duas opiniões, a primeira é que “o aumento da eficácia só faz sentido quando está associado a redução de custos” e a segunda “a eficiência deve ser melhorada em cada estágio e, ao mesmo tempo, para a fábrica como um todo”. Assim, Ohno e Shigeo Shingo, definiram uma forma ampla para abordar os desperdícios.

Como é apresentado, na Figura 1 os sete desperdícios principais, explicados por Riani (2006) e Rodrigues (2016), são definidos com a superprodução, o transporte, estoque, produtos defeituosos, processamento, movimentação e o tempo de espera.

**Figura 1 - Os sete desperdícios principais segundo Ohno e Shingo**



Fonte: Rodrigues (2016)

De acordo com Ohno (1997), e seguindo a mentalidade enxuta, as sete categorias que os desperdícios podem ser classificados são:

- Superprodução: como o nome sugere, é a produção excessiva ou a produção de produtos que não atendem a necessidade dos clientes, acarretando o a lotação dos estoques e assim necessidade de espaço físico maior, tempo de deslocamento, deterioração do estoque entre outros problemas, afirmando assim que é um dos principais desperdícios, pois é a causa para muitos outros desperdícios.
- Transporte: a movimentação desnecessária de produtos, produtos semiacabados ou matéria-prima, causadas pelos layouts mal estabelecidos resultando em perdas de tempo e recursos.
- Estoques: é o excesso de produtos, materiais, peças e informações que estão esperando para serem processadas, ou seja, a mais do que a necessidade da demanda, ocasionando *lead time* (tempo total de produção) longos, deterioração, obsolescência e danificação. Requerendo capital de giro para sua manutenção.
- Defeitos: são perdas de materiais e produtos, ocasionados pela deficiência no processo produtivo, gerando peças que necessitam de retrabalho ou são sucatas. O retrabalho exige recursos humanos e materiais, além de tempo.
- Processamento: etapas consideradas desnecessárias, que não agregam valor ao produto e estão relacionadas ao mau uso dos equipamentos e ferramentas, além da utilização de mão de obra inadequada, sem a devida capacitação.
- Movimento: movimentação de pessoas e produtos de um lugar para o outro sem propósito, além da movimentação desnecessária dos operadores na execução de suas tarefas, na procura e seleção das ferramentas, peças ou outros itens necessários para a sua atividade.
- Espera: compreendido como todo e qualquer tempo ocioso gerado por motivos como, falta de materiais, indisponibilidade de maquinários ou por espera de informações que resultam em atrasos na produção.

### 2.2.2 Princípios enxutos

De acordo com Womack e Jones (2004), a mentalidade enxuta busca atender as necessidades do cliente, visando a entrega dos produtos na hora que solicitados, com qualidade e baixos custos, através da eliminação de desperdícios ao longo do fluxo de valor. Os autores



classificam o pensamento enxuto em cinco princípios: produção puxada, fluxo, perfeição, valor e fluxo de valor Figura 2.

**Figura 2 - Princípios Básicos do Pensamento Enxuto**



**Fonte: Adaptado Womack e Jones (2004)**

A demanda real é delimitada pelo o que o cliente quer no momento em que ele quer, considerando sem paradas, logo uma produção puxada baseada na mentalidade enxuta utiliza-se de métodos para que todos os processos sejam puxados por esta demanda. O conceito de que cada processo da fábrica é um “consumidor” de um processo anterior e “fornecedor” de um processo posterior serve para este propósito, assim, a produção só começará quando um processo posterior ou o cliente final solicitar (WOMACK e JONES, 1998).

A implementação do fluxo contínuo busca a eliminação de desperdícios e o alinhamento dos processos seguindo a sequência das atividades devidamente organizadas para que não ocorram interrupções. A produção desta maneira reduz os custos de operações, pois diminui o risco de não entregar o que o cliente quer no momento exato que ele quer e diminui o risco de que os processos sejam interrompidos (ZAWISLAK et al, 2003).

Womack e Jones (2004) definem perfeição como valor absoluto e uma expressão utópica e inatingível. Contudo, dentro da mentalidade enxuta à perfeição tem caráter dinâmico, sendo considerada como um estágio a ser atingido, para que então se estabeleça uma nova perfeição.

De acordo com a mentalidade enxuta, valor é definido por tudo aquilo que o cliente esteja disposto a pagar, ou seja, não é uma determinação interna da empresa, mas sim expresso em termos de um produto específico que atenda às necessidades do cliente em um momento

específico. Por isso a necessidade gera o valor, e cabe às empresas determinarem qual é essa necessidade e devem procurar satisfazê-la e cobrar por isso um preço específico (WOMACK e JONES, 2004).

Fluxo de valor consiste na análise das atividades, as quais são submetidas os produtos para a concepção do valor, e é formado tanto por atividades que agregam valor ao produto quanto por atividades que não agregam. A ferramenta utilizada para análise das atividades do processo é o mapeamento do fluxo de valor (MFV), que classifica de forma clara todas as atividades no processo em questão. (ROTHER e SHOOK, 1999).

### 2.3 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR (MFV)

Mike Rother e John Shook buscaram maneiras para auxiliar empresas a terem uma visão sobre o fluxo como um todo, que ao invés de aplicar um sistema isolado de melhorias, tinham como objetivo implementar um sistema enxuto de produção. Foi observado um potencial significativo, muito melhor do que se tinha imaginado, com isso, foi formalizado um método, construída uma ferramenta e um método de treinamento, chamado mapeamento do fluxo de valor (ROTHER e SHOOK, 1999).

O fluxo de valor pode ser considerado toda ação necessária para trazer um produto por todas as etapas essenciais em sua confecção ou transformação, agregando valor ou não ao produto, podendo ser descrito como uma ferramenta essencial do sistema de produção enxuta. Assim, mapear o fluxo de valor é percorrer todo o processo de transformação do material, melhorando a comunicação, o planejamento e gerenciamento de mudanças, que direciona as tomadas de decisões das empresas em relação ao fluxo, possibilitando ganhos em indicadores de desempenho interessantes, além de obter informação do produto e sua produção, podendo abranger várias empresas e até outras unidades produtivas (LUZ e BUIAR, 2004).

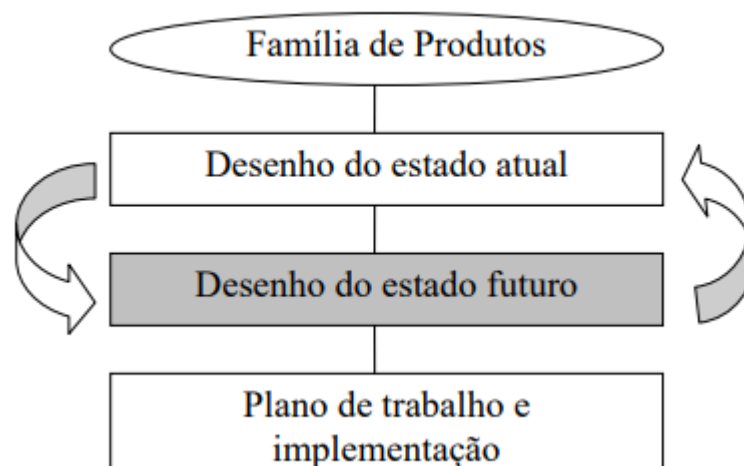
De acordo com Silveira (2021) o mapeamento de fluxo de valor possibilita a visualização de quais etapas geram, agregam ou não valor ao produto, pontos que geram desperdício e melhorias que podem ser aplicadas pois é possível visualizar onde devem ser implementadas ferramentas que auxiliam na redução de desperdícios.

O processo produtivo no MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) pode ser dividido e analisado de três formas: a primeira são os processos que geram e agregam valor, segundo são processos que não geram ou não agregam valor, mas são necessários para que o produto tenha a qualidade necessária, para então os processos que não geram nem agregam valor ao produto final, logo, este é que deve ser eliminado ou evitado.

Conforme Figura 3, Rother e Shook (1999) definem três etapas, que devem ser seguidas para a aplicação do mapeamento do fluxo de valor: A primeira etapa tem objetivo de selecionar uma família de produtos que possuem o mesmo processo de produção e utilizam o mesmo maquinário para então serem analisadas. A segunda etapa é mapear e desenhar os estados do processo atual e futuro, os dados do processo atual são obtidos a partir da coleta de dados no chão de fábrica.

A partir deste momento que o processo é conhecido passo a passo e seus pontos de gargalos e não conformidades são identificadas, para então ser possível montar o processo do mapa futuro.

**Figura 3 - Etapas Iniciais do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor)**



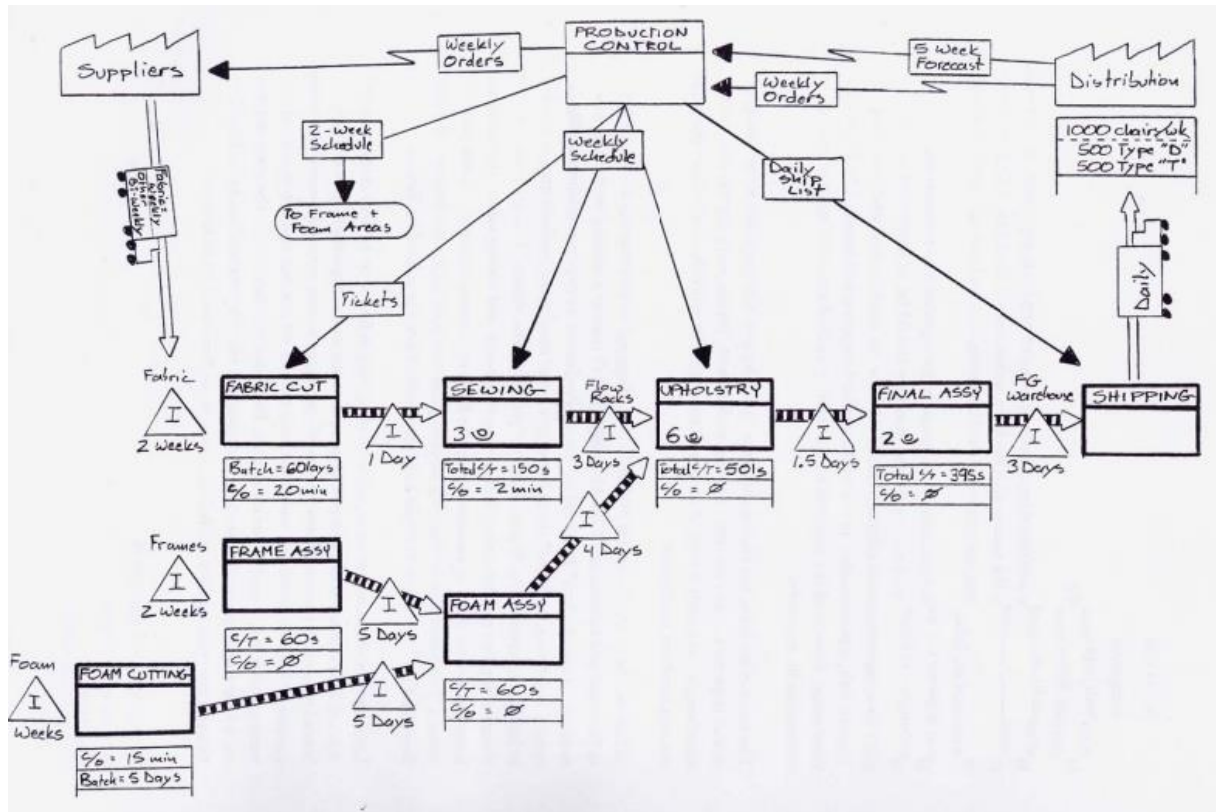
**Fonte: Rother e Shook (1999)**

A terceira etapa é construir um plano de ação que descreva o que deve ser feito e quais práticas devem ser implementadas no processo, para que seja possível alcançar o futuro planejado. Após a aplicação e execução do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor), deve se iniciar a melhoria contínua, pois a cada futuro alcançado, um novo mapeamento deve ser realizado, buscando melhorar continuamente o processo produtivo da organização.

Segundo o *Lean Institute* Brasil (2021), o mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta operacional considerada simples, que permite enxergar, compreender e entender o fluxo de informações e materiais por todo o fluxo de valor de um produto. Seu principal objetivo é possibilitar o início do processo de transformação enxuta em uma empresa, proporcionando uma visão das etapas e fluxos dos processos com a implementação do estado atual e do estado

futuro, com a aplicação do mapa do estado atual, representado pela Figura 4 onde pode ser mostrado o caminho que um produto percorre desde o pedido do cliente, até a entrega do produto final.

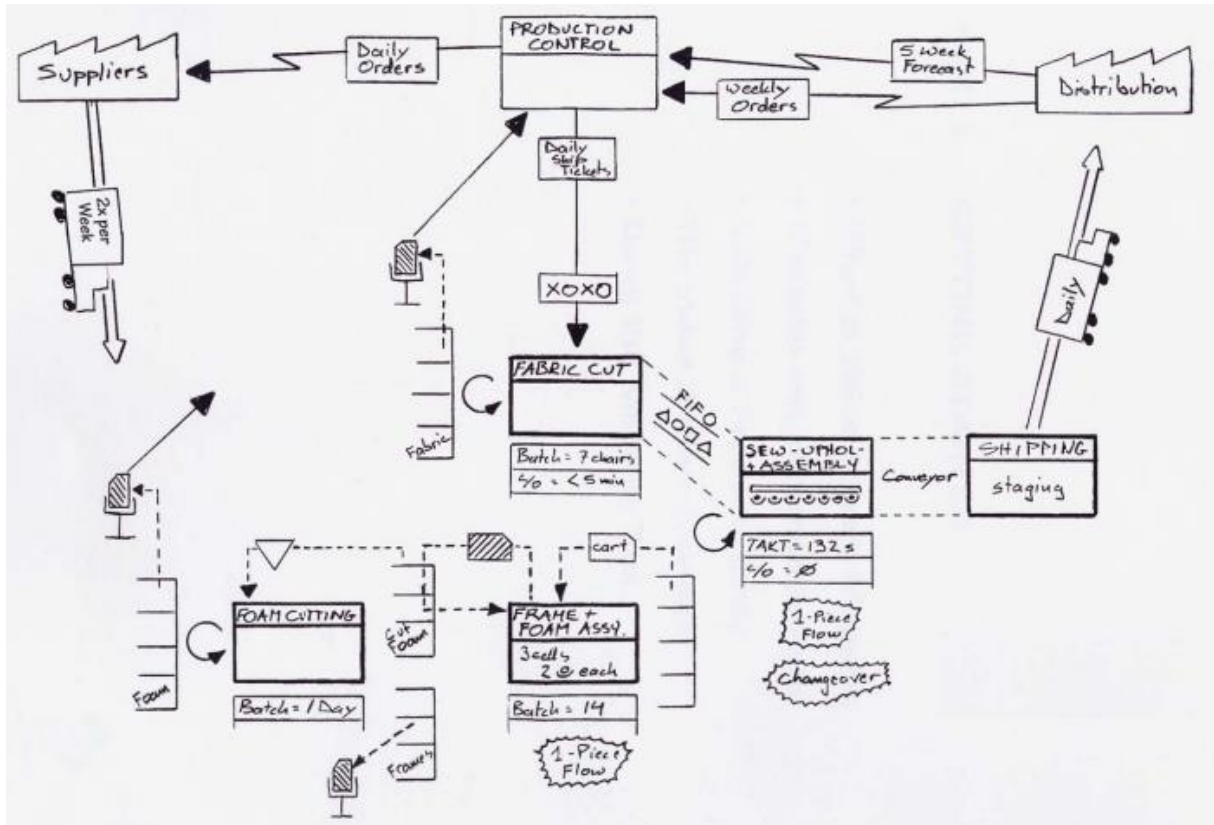
Figura 4 - Mapa Atual



Fonte: Rother e Shook (1999)

Conseqüentemente, o mapa do estado futuro, ilustrado na Figura 5 apresenta as oportunidades de melhoria encontradas no mapa do estado atual, procurando atingir um desempenho superior no futuro.

Figura 5 - Mapa Futuro



Fonte: Rother e Shook (1999)

De acordo com Sayer e Willians (2016), foram descritos cinco conceitos relacionados com o mapeamento do Fluxo de Valor que devem ser seguidos para ter uma correta execução e leitura dos diagramas.

- Tempo de processamento: pode ser definido como o tempo necessário para executar uma tarefa, ou seja, o tempo total utilizado para produção de um produto.
- Tempo de ciclo (C/T): é o período de tempo determinado em que um produto, ou um conjunto de produtos é processado, ou seja, o tempo necessário para que o operador consiga realizar um conjunto de tarefas, até o início de um novo ciclo de processo.
- Tempo de setup (C/O): é o período de tempo compreendido entre as paradas de troca de processo, que pode ser compreendido como o tempo necessário para fazer alterações no processo ou linha de produção para se iniciar a produção de outro produto.

- *Lead Time*: é o tempo total que uma peça leva para mover-se desde o começo até o fim de todo um processo ou um fluxo de valor.
- *Takt Time*: é o tempo que a indústria gasta para produzir um produto e conseguir atender a demanda desejada pelo cliente.

### 2.3.1 Mapa atual

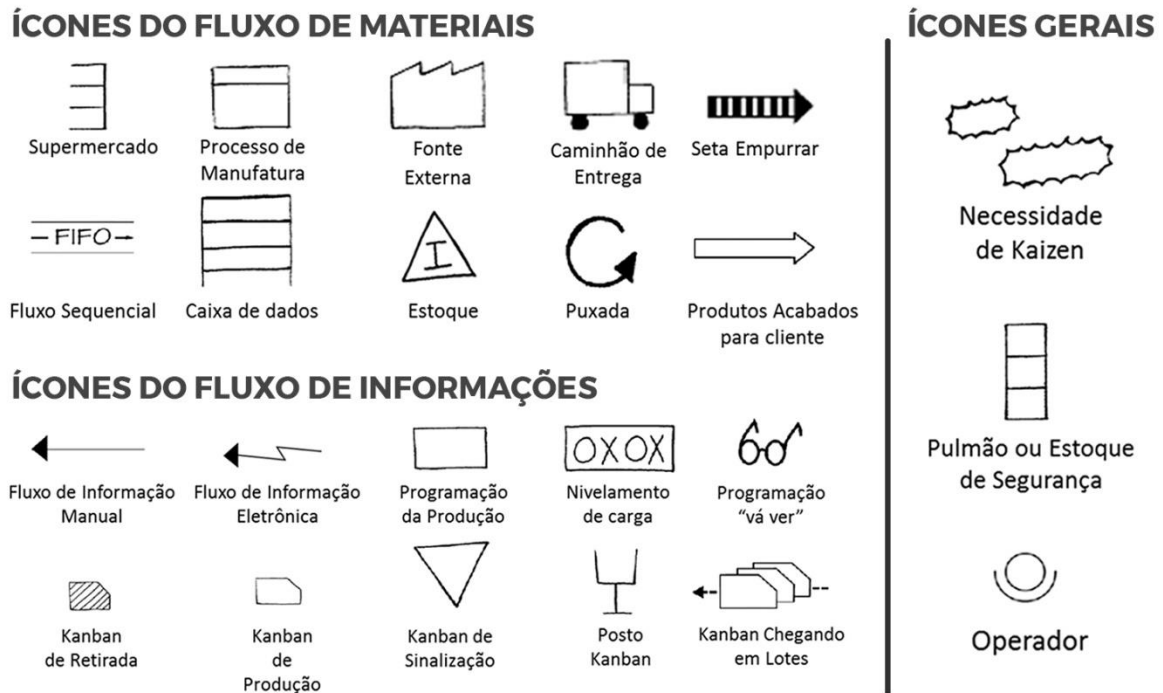
O mapa do estado atual é uma representação que é realizada a partir da coleta de informações referente a família de produtos ou processo de produção escolhido, que reflete diretamente o fluxo de materiais e informações, além dos recursos disponíveis na empresa.

Para reproduzir o mapa do estado atual, os dados que tem relação aos processos produtivos devem ser obtidos diretamente do chão de fábrica, porém, informações de clientes, fornecedores, matéria prima, insumos e do PCP (Programação e Controle de Produção) devem ser obtidas de cada setor (ROTHER e SHOOK, 1999).

Além dos processos, o mapa do estado atual registra o fluxo de materiais e informações, especificando a quantidade de estoque e o tempo que estes materiais permanecem parados. Após a conclusão do mapa atual é possível comparar o *lead time* de produção com o tempo de processamento. Quanto maior forem os itens em estoque e maior o desnivelamento da produção, maior será a diferença entre o lead time e o tempo de processamento (MOREIRA e FERNANDES, 2001).

Segundo Rother e Shook (1991), para modelar o fluxo de valor é utilizado um conjunto de símbolos pré-definidos, que consiste em ícones para visualizar os fluxos de informação e materiais conforme Figura 6, porém nada impede a criação ou inclusão, de outros ícones específicos, para uma melhor representação de detalhes característicos do processo.

Figura 6 - Ícones do Mapeamento e Fluxo de Valor



Fonte: Rother e Shook (1999)

Moreira e Fernandes (2001) definem algumas informações que devem ser adquiridas para uma melhor montagem do estado atual, sendo separadas em necessidades do cliente, que é quantidade de peças produzidas por mês, quantos turnos de trabalho, a frequência de entregas, o tempo trabalho na empresa, quantos dias por mês, quantos turnos por dia e quantas horas por turno.

É o processo de produção que define as etapas, os tempos, quantas máquinas e pessoal estão ou estarão disponíveis. É o setor de programação e controle da produção (PCP) que gera previsões, lançamentos, compras, pedidos, ordens de produção para as etapas e para expedição. É o fornecedor, que define a quantidade de lotes mínimos, a frequência de entregas, e tempo de entrega.

### 2.3.2 Mapa Futuro

Tomando como base o mapeamento do fluxo de valor atualizado do processo, é necessário considerar alguns pontos para a obtenção do mapa do estado futuro. Determinar o *Takt-Time* é fundamental para estabelecer o ritmo de produção requerido pela quantidade de demanda do produto. É necessário, determinar se a produção é para um estoque ou

supermercado de produtos acabados, ou se o envio do produto será direcionado diretamente para o cliente para então analisar onde aplicar o fluxo contínuo no processo produtivo, após está análise, deve verificar onde é necessário a implementação de sistemas puxados, para então analisar então em que estágio da cadeia produtiva será programada a produção (ROTHER e SHOOK, 1999).

Os pontos abordados devem ser seguidos e nenhum deles deve deixar de ser realizado, pois podem comprometer toda a análise feita até o momento pelo mapeamento de fluxo de valor. A partir destas questões é possível desenhar o mapa do estado futuro, o qual é dividido em passos que são comentados na sequência.

O cálculo do *Takt-Time*, como apresentado na Figura 7 é o primeiro passo para a obtenção do mapa futuro, cálculo que é feito através dos tempos apurados no estado atual, e com o resultado obtido é que se define a meta a ser alcançada pelo T/C (tempo de ciclo).

**Figura 7 - Cálculo do Takt Time**

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo de Trabalho Disponível por Turno}}{\text{Demanda do Cliente por Turno}}$$

Exemplo:

$$\text{Takt Time} = \frac{27.600 \text{ s}}{460 \text{ peças}}$$

$$\text{Takt Time} = 60 \text{ segundos}$$

**Fonte: Adaptado de Rother e Shook (1999)**

A definição da produção é o passo que se deve tomar na sequência, delimitando se a produção é para um supermercado de produtos, ou se é voltada para a expedição, que geralmente tem um valor agregado alto e são pedidos feitos sob encomenda, assim, alguns fatores são necessários para fazer esta escolha, como a confiabilidade do processo, a característica do produto e o tempo de entrega (ROTHER e SHOOK, 1999).

Segundo Zawislakz, Maronin e Gerber (2003) é a partir da implementação do fluxo contínuo que é possível eliminar desperdícios e fazer o que o cliente deseja e seguir a sequência das atividades devidamente organizadas para que não ocorram interrupções, desta maneira,



reduzindo significativamente os custos de operações, pois diminui o risco de não entregar o que o cliente quer no momento exato que ele quer além de minimizar o risco de que os processos sejam interrompidos, gerando enormes desperdícios de tempo.

Assim, um fator muito importante é a definição de um fluxo contínuo em todo o processo, pois quanto mais o processo for contínuo menor será o desperdício, portanto, é importante o esforço em eliminar ilhas isoladas e aplicar o fluxo contínuo no máximo de processos que conseguir, com o objetivo de combater os desperdícios, mesmo havendo casos onde o fluxo contínuo não é possível (ZAWISLAKZ et al, 2003).

Quando não existe a possibilidade de implementação de um fluxo contínuo se deve implementar supermercados para regular o fluxo entre os processos, controlados por um sistema Kanban para programar a produção, permitindo nivelar e programar os processos responsáveis por abastecê-los. Pois um supermercado é o lugar onde um cliente pode obter aquilo que é necessário, no momento certo e na quantidade certa (OHNO, 1997).

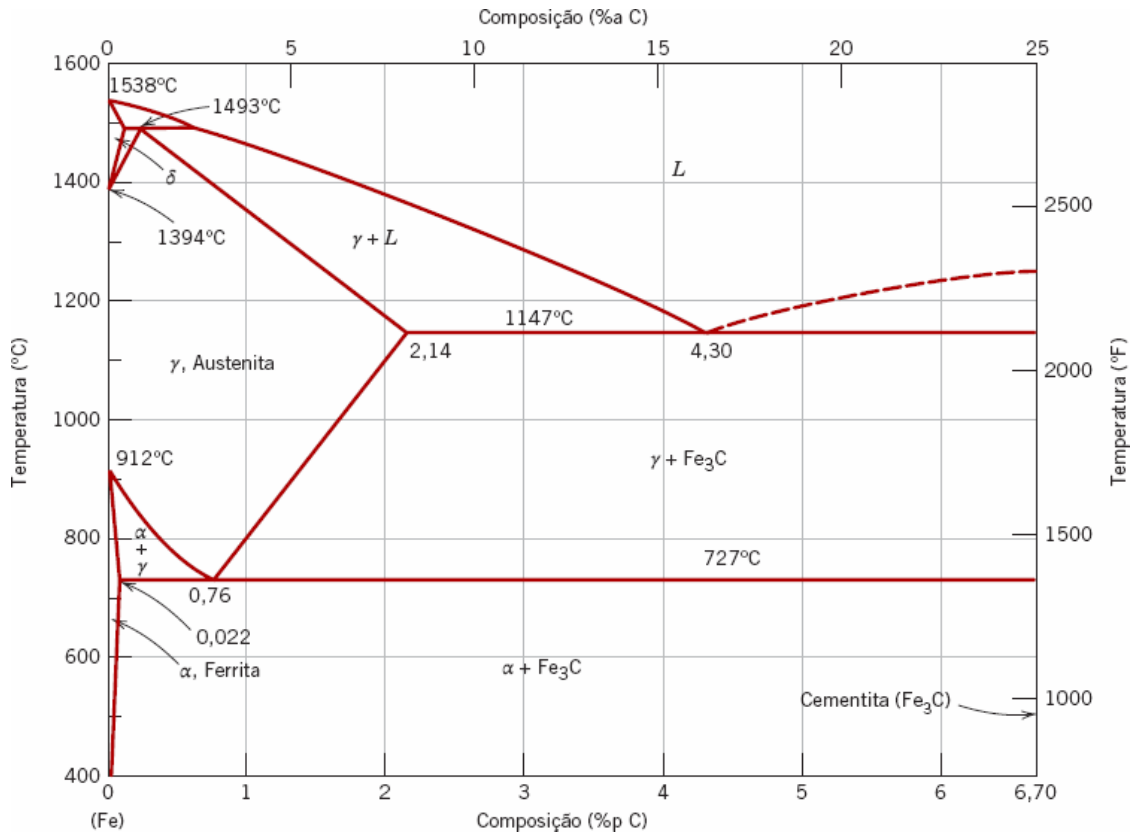
Por fim, o último passo é a definição de um ponto da cadeia produtiva que será programado para receber as ordens de produção, para então os outros processos serem controlados pelo sistema Kanban, ponto chamado de processo puxador, sendo este controlado pelos pedidos dos clientes externos e responsável por definir o ritmo para os processos anteriores.

Todos os apontamentos e melhorias devem ser identificados e registrados para estabelecer o fluxo contínuo, também devem ser incluídas nesta etapa as melhorias de tempo útil das máquinas e redução dos tempos de trocas, levantando apontamentos no estado atual para pontos que precisam de melhorias (ROTHER e SHOOK, 1999).

## 2.4 FERRO FUNDIDO

Os ferros fundidos são ligas que contêm basicamente ferro, carbono e silício e que se caracterizam por apresentarem reação eutética durante sua solidificação. A sequência de solidificação e a microestrutura desses materiais podem ser interpretadas pelo diagrama de equilíbrio metaestável (Fe-Fe<sub>3</sub>C), conforme Figura 8, com as modificações necessárias em virtude da presença de outros elementos químicos. (CALLISTER, 2014).

**Figura 8 - Diagrama Metaestável Fe-Fe<sub>3</sub>C**



Fonte: Callister (2008)

Os ferros fundidos, em relação sua composição e em função da sua microestrutura, podem ser classificados em 7 tipos distintos, sendo descritos como ferro fundido branco, ferro fundido cinzento, ferro fundido mesclado, ferro fundido maleável, ferro fundido nodular, ferro fundido vermicular e ferro fundido especiais. (CHIAVERINI, 2002).

Segundo Santos e Branco (1991) o ferro fundido branco é caracterizado por todo o carbono presente na liga, encontra-se na forma de cementita ou outros carbeto metálicos. No ferro fundido cinzento as fases formadas na solidificação são austenita e grafita, dando-se, portanto, sua solidificação, segundo o diagrama de equilíbrio estável. Nessas ligas obtêm-se grafita em forma de veios, sendo necessário distinguirem-se os teores de carbono grafítico e carbono combinado, cuja soma fornece o teor total de carbono desses ferros fundidos.

O ferro fundido mesclado é formado quando a solidificação resulta na formação de áreas de ferro fundido branco e de ferro fundido cinzento, em virtude de parte de sua solidificação se verificar segundo o sistema estável (austenita-grafita), e parte, segundo o metaestável (austenita-carboneto). A liga de ferro fundido nodular apresenta grafita na forma de nódulos ou esferóides no estado bruto de fusão, em decorrência da adição de certos elementos químicos ou

condições particulares de fabricação, que modificam a forma de crescimento da grafita (SANTOS e BRANCO, 1991).

As ligas que se solidificam como ferros fundidos brancos, sendo posteriormente submetidas a um tratamento térmico onde a cementita se decompõem em grafita e austenita, é chamado de ferro maleável. Já o ferro fundido vermicular é obtido do no estado bruto de fusão, através da adição de elementos de liga. Por fim, o ferro fundido especial é aquele que contém percentagens consideráveis de elementos de liga para proporcionar a obtenção de determinadas propriedades específicas. Estes ferros fundidos podem ser cinzentos, brancos ou nodulares (SANTOS e BRANCO, 1991).

## 2.5 INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO

Quando setores industriais de diferentes segmentos necessitam de soluções customizadas, é a indústria de fundição que oferece estes serviços, contando com diversas técnicas que são utilizadas para atender a demanda do mercado, buscando um produto final de qualidade, com bom acabamento e um orçamento aceitável, se que a principal vantagem desse ramo é a versatilidade, já que as técnicas utilizadas permitem uma infinidade de opções de moldagem e tipos de acabamento (PONTES, 2012).

Usualmente nos processos de fundição os materiais utilizados são rejeitos metálicos, constituídos de sucatas provenientes de inúmeras fontes de reciclagem, como estamparias, cutelarias, forjarias e até mesmo sucatas geradas pela obsolescência de equipamentos, desde automotivos até industriais (BIOLO, Op. cit.). Dependendo do tipo de metal vazado, as fundições são classificadas em ferrosas e não-ferrosas (alumínio, cobre, latão, bronze). A produção brasileira concentra-se em ligas ferrosas correspondendo a 90% dos fundidos produzidos (CASTRO et al., 2010).

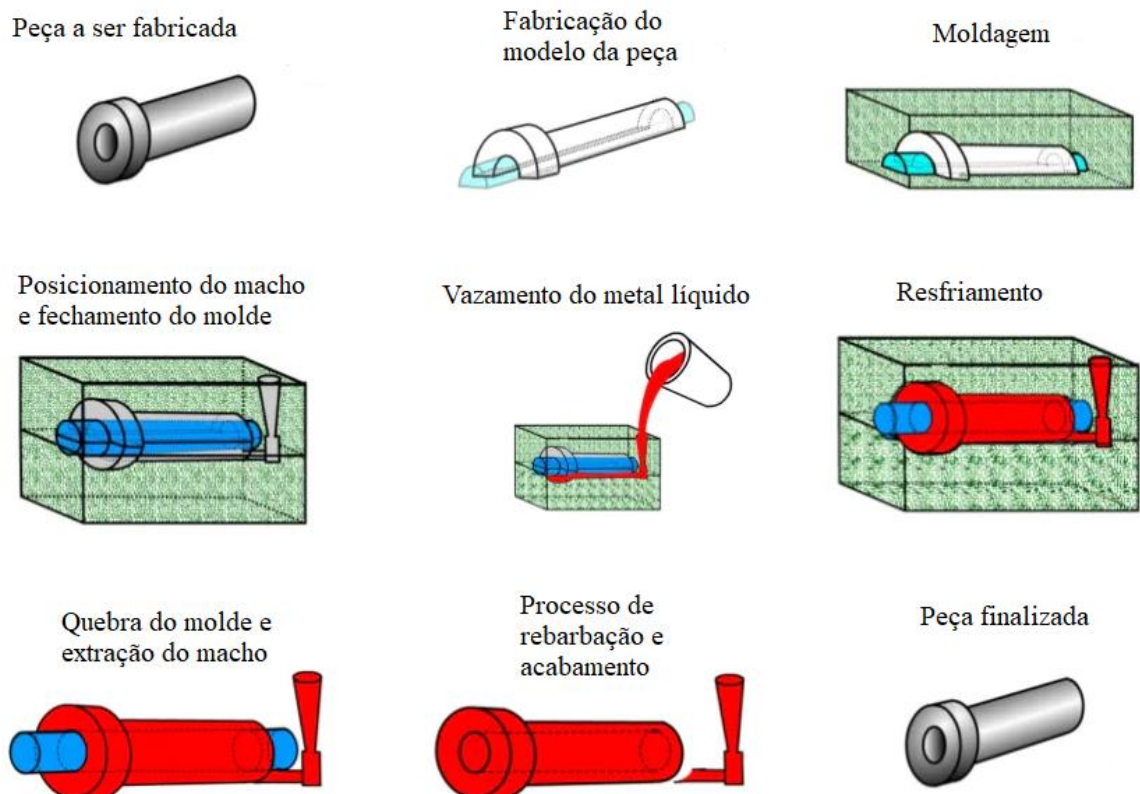
Quase todos os produtos industrializados dependem direta ou indiretamente da indústria de fundição, pois além de permitir a produção de objetos prontos para o consumo final a indústria de fundição trabalha com a confecção e fabricação de produtos que tem como base material fundido que são aplicados sobre um molde e depois de resfriado, o material solidificado adquire a forma do molde (PONTES, 2012).

### 2.5.1 Processos de fundição

A fundição é o processo pelo qual os metais ou ligas metálicas em estado líquido são vazados em um molde para a fabricação dos mais variados tipos de peças. Em muitos casos, a fundição é o processo mais simples e econômico de se produzir uma peça, principalmente quando esta é de grande porte, de geometria complexa com canais internos e cavidades (PROCESSOS DE FUNDIÇÃO, IFSC, 2015).

O processo de fundição, simplificado na Figura 9 pode ser definido como um método de obtenção de peças metálicas, confeccionados a partir de um modelo, através do vazamento de metal líquido dentro de moldes, e finalizado após o resfriamento e solidificação (COSTA e GIÃO, 2001).

**Figura 9 - Fluxograma Simplificado Processo de Fundição**



Fonte: Adaptado de Quissini (2009)

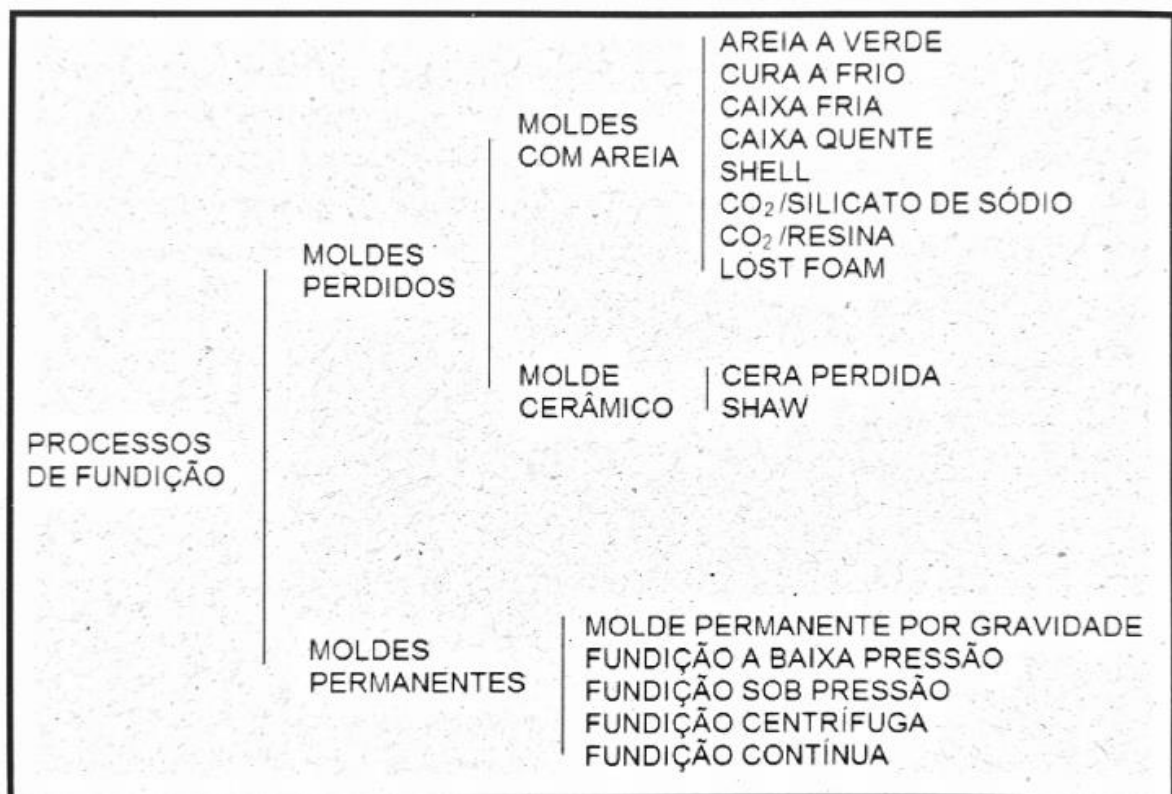
Os componentes principais de um processo de fundição são os modelos, machos e moldes. Os modelos constituem uma réplica perfeita da peça a ser produzida, com acréscimos nas dimensões do material para compensar a contração e a usinagem.

Os moldes podem ser feitos de madeira, metal, resina, ou outros materiais e os moldes correspondem ao formato negativo da peça (PERINI, 1986). Muitas peças contêm ainda cavidades internas, que são obtidas através da inserção de machos, que são confeccionados com areia e resinas e são inseridos no interior dos moldes, de maneira que após o vazamento se forme a cavidade da peça (CARNIN, 2008).

### 2.5.2 Processos de moldagem

Existem vários processos e maneira de se obter os moldes e modelos, dentro do processo de fundição os moldes são divididos em dois tipos, de acordo com a Figura 10, os moldes perdidos e os moldes permanentes. Os moldes perdidos podem ser divididos em moldes com areia e moldes cerâmicos, dentro do conjunto molde de areia existem variações sendo uma delas a cura a frio, que é o processo que será abordado no presente trabalho (KONDIC, 1973).

**Figura 10 - Processos de Moldagem**



Fonte: Escola de Fundição Shulz Automotiva (2006)

Existem vários processos de moldagem, e a maioria segue um mesmo padrão, de compactação de areia ao redor do modelo, onde uma caixa confeccionada especificamente para peça é preenchida com areia de fundição, formando duas partes do modelo, então, são retirados os moldes, e são feitos os canais de respiro ou vazamento. Após este processo são montadas as duas metades, de maneira que os dois blocos formam uma peça cujo interior está à cavidade que é a parte negativa do molde a ser preenchido pelo metal em fusão (COSTA e GIÃO, 2001).

### 2.5.3 Cura frio

Dentro da indústria de fundição, o processo da cura a frio é feito a partir do uso de molde matriz, que podem ser moldes soltos, placas monolíticas feitas em material como ferro, ou moldes de madeira, alumínio ou aço, que são empregados na fundição dos mais diversos materiais metálicos (DUARTE, 1999).

Sendo um dos processos mais versáteis que podem ser empregados na fundição, a cura a frio pode ser adaptada e adequada a uma grande variedade de peças e necessidades, proporcionando uma excelente reprodução e níveis excelentes de qualidade e acabamento das peças.

A areia de fundição é uma mistura entre vários tipos de areias, mais a adição de ligantes como argila entre outros componentes necessários para dar as características específicas (BONIN, 1995).

A reprodução das peças é feita por meio dos moldes e matrizes que são formados a partir da areia, que é uma mistura de areia, resina e catalisador, que posteriormente vai ser vazado o material em estado líquido que gerará a peça de acordo com o modelo formado na areia. Esta técnica permite um alto grau de detalhamento, proporcionando uma reprodução exata e com uma geometria muito próxima da final.

A cura a frio é indicada para a reprodução de peças de grande porte e/ou que necessitem de grande precisão na cópia, além desta técnica apresenta bom custo-benefício para a reprodução em baixa escala.

### 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Silva e Menezes (2000) classificam de quatro formas diferentes uma pesquisa, em relação à natureza da pesquisa, na forma de abordagem do problema, quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos.

Neste presente trabalho, em relação à natureza, é classificado como uma pesquisa aplicada, pois o mesmo tem como objetivo atender as exigências do mercado, contribuindo para a solução de problemas reais encontrados na organização.

Segundo Silva e Menezes (2000), quando existe uma interpretação de fenômenos, uma atribuição de significados e quando o estudo envolve o ambiente natural como fonte dos dados, o pesquisador é considerado um instrumento-chave. A análise de dados tem como focos principais o processo e seu significado fazendo com que este trabalho se caracterize com uma pesquisa qualitativa.

Segundo Gil (2007), quanto aos objetivos existe três tipos de pesquisas: exploratórias, descritivas e explicativas. Nesse sentido, essa pesquisa se classifica como exploratória, pois a pesquisa assume a forma de um estudo de caso, e existe um levantamento bibliográfico, com o intuito de proporcionar um maior conhecimento teórico sobre o assunto. Do ponto de vista dos objetivos, este trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa exploratória, pelo fato de se caracterizar como um estudo aprofundado da aplicação do mapeamento e fluxo de valor em um setor da empresa buscando falhas e possíveis melhorias.

Através da revisão bibliográfica, que teve como base artigos, dissertações, livros e sites, foi feito um embasamento teórico dos principais temas abordados e que são necessários para a decorrência do trabalho. Em sequência, após a revisão bibliográfica, serão levantados dados sobre a empresa em estudo, bem como dados da linha de produção que será aplicada a ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor.

Conforme Rother e Shook (2003), o Mapeamento do Fluxo de Valor segue algumas etapas para sua melhor execução. A primeira é a seleção de família de produtos, onde os produtos que compõem possuam etapas semelhantes durante processamento e utilizam equipamentos e máquinas em comum, para que possam ser confeccionados os mapas do estado atual. O mapa atual é feito a partir de dados coletado no chão de fábrica e fornecerá as informações necessárias para desenhar o estado futuro, onde as propostas de melhorias possam ser desenvolvidas nos conceitos da mentalidade enxuta e que atendam às exigências e necessidades da empresa.

É de extrema importância para uma pesquisa, que os dados e informações levantadas sejam confiáveis, atuais, e sejam condizentes com a realidade da companhia, para que assim, na fase de coleta de dados, possamos ter informações essenciais para análise dos dados e obtenção de um melhor conhecimento do processo.

A obtenção de dados será realizada através de:

- Documentos da empresa: serão observados documentos sobre a demanda de produtos, custo e tempos de operação predefinidos.
- Histórico do processo: dados a respeito da manutenção, paradas de máquinas e histórico geral do processo.
- Entrevistas semiestruturadas com os colaboradores e diretoria: para melhor entendimento dos processos, local de gargalos e possíveis melhorias.
- Observação direta: dados obtidos diretamente do chão de fábrica, sobre o fluxo de pessoas, materiais e informação referente à família de produtos e os tempos que compõem o *lead-time*.

### 3.1 DEFINIÇÃO DA EMPRESA

A empresa em que o estudo de caso foi realizado é uma grande produtora de peças e equipamentos de ferro fundido, alumínio, aço e usinagem, produz peças de variados tamanhos e de geometrias complexas. São distribuídas em quatro fábricas, três no estado do Paraná e uma no estado de Santa Catarina, responsável por suprir uma grande demanda de peças e produtos, oriundas de montadoras e outras fábricas que necessitam de bens de capital.

A empresa conta com clientes em diversas partes do país, produzindo também, peças para exportação. Como são pedidos que normalmente variam em volume e tempo de entrega, faz-se necessário a realização de previsão de demanda pelo setor de vendas, além do envolvimento de todos os setores, como engenharia e laboratório de análises, devido a criticidade das peças. As peças são avaliadas pelo controle de qualidade e os volumes de produtos necessários levantados e enviados ao setor de PCP (Programação e Controle de Produção) que elabora as ordens de produção, e enviam-nas para a indústria.

O estudo será delimitado à proposta de melhorias de uma linha de produção da indústria de ferro fundido, envolvendo todas as atividades do processo desta linha, desde a entrada de matéria prima até a saída do produto final da linha. O estudo permitirá identificar os desperdícios atrelados ao processo, para isso, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), se



mostra eficaz, pois identifica e permite transformar os desperdícios decorrentes do processo em valor agregado ao produto final.

### 3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Nos tópicos seguintes é feita a explicação como foram feitas as definições do processo estudado Quadro 1, o mapeamento do processo atual e futuro, além do plano de implementação das melhorias, que ocorreu durante o período final de 2021 e início de 2022.

**Quadro 1 - Sequência da Implementação do Estudo**

<b>Passos</b>	<b>Descrição</b>
1 - Escolha do fluxo de valor	Análise de uma unidade de trabalho, priorizando fluxo e desperícios.
2 - Mapeamento do estado atual	Mostra o estado atual do processo, expondo problemas e gargalos.
3 - Mapeamento do estado futuro	Passo que exhibe as propostas e melhorias que podem ser implementadas.
4 - Propostas de implementação	Conclusão do trabalho.

**Fonte: Adaptado de Tapping e Shuker (2003)**

As adaptações feitas visando uma proposta de implementação de melhorias e solução de problemas, mas não é a resolução dos problemas da empresa, como não existe o critério de implementação dos pontos abordados.

#### 3.2.1 Escolha do Fluxo de Valor

Conforme proposto por Rother e Shook (2012), o primeiro passo do estudo de caso é a escolha do processo. O processo escolhido foi o processo da cura a frio, que é um processo de moldagem responsável por fazer os moldes que formam as partes negativas das peças e que posteriormente serão cheios com metal líquido. A escolha do processo se deu devido ao interesse estratégico da empresa em diminuir as perdas e melhorar tempos e rendimentos.

### 3.2.2 Mapear Estado Atual

Os dados serão recolhidos de um estudo realizado na empresa juntamente com os colaboradores, técnicos e supervisores responsáveis pelo processo, através de entrevistas, tomadas de tempo e entendimento do fluxo do processo. Assim, será possível ter as descrições das funções e os tempos estimados das atividades que puderam ser obtidas. O desenho do mapeamento será realizado utilizando o *Lucid Chart*, que já contém os ícones padrão do mapeamento do fluxo de valor e licença gratuita para todos os usuários.

### 3.2.3 Mapear Estado Futuro

Com o mapa do estado atual pronto e aplicando e utilizando técnicas e princípios do *Lean Manufacturing*, será realizado o mapeamento de fluxo de valor futuro, onde estão indicadas as propostas de melhoria do processo, tendo como foco a redução dos desperdícios.

### 3.2.4 Propostas de Implementação

Com o mapeamento do estado futuro realizado, a confecção do plano de implementação das melhorias será feita. No próximo capítulo, é apresentado o estudo de caso, o mapeamento do estado atual, a identificação das medidas de desempenho, o mapeamento do estado futuro e o plano de implementação.

## 3.3 A EMPRESA

Fundada em 1980 a empresa iniciou suas atividades como uma empresa de beneficiamento de metal e usinagem, em 1987 adquiriu sua sede própria onde teve seus trabalhos expandidos e com a aquisição de novos equipamentos que tornaram possível o trabalho com peças mais complexas.

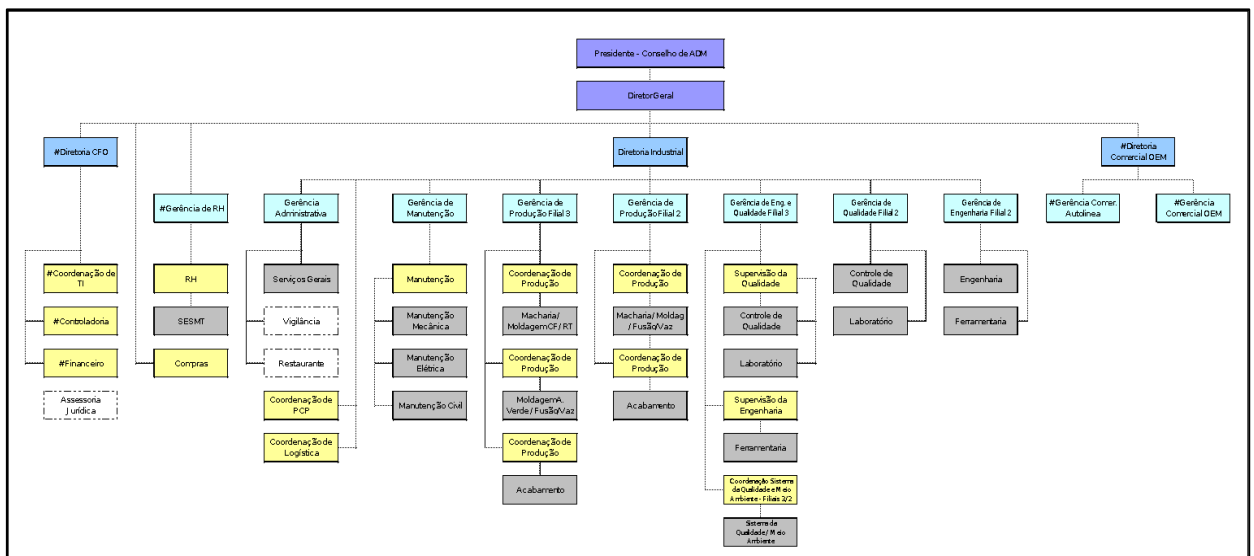
A partir dos anos 2000, após a aquisição das fundições de ferro e a fundição de alumínio é que a companhia passou a trabalhar com o setor completo de desenvolvimento de peças para o setor automotivo pesado, desde a fundição, usinagem e montagem, além de uma grande variedade de peças de bens de capital.

No ano de 2002 a companhia comprou mais uma fundição de ferro e a partir do ano 2019 passou a produzir peças de aço em sua filial 2.

Hoje a empresa é uma importante fornecedora da indústria automotiva, abastecendo montadoras, seus sistemas e indústrias de bens de capital, atuando nas áreas de fundição, usinagem e montagem.

A administração das empresas é familiar, e pertencendo a família estão os cargos de presidência e diretor geral, e pode ser representada pelo organograma da Figura 11, a companhia conta com 800 funcionários distribuídos em quatro fábricas, com um catálogo de mais de 1000 peças justificando sua forte atuação no segmento.

**Figura 11 - Organograma da Empresa**



**Fonte: Autor (2021)**

Atualmente a empresa apresenta dificuldades com a linha de produção estudada, pois erros e não conformidades nesta linha acarretam problemas posteriores, influenciando indicadores como refugo além da possibilidade de poder aumentar e melhorar sua produção.

Diante dos problemas decorrentes e da possibilidade de melhoria notou-se a oportunidade de estudar o processo de produção e aplicar conceitos de produção enxuta, já que está apresenta soluções simples e de fácil alcance proporcionando mudanças positivas.

## 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

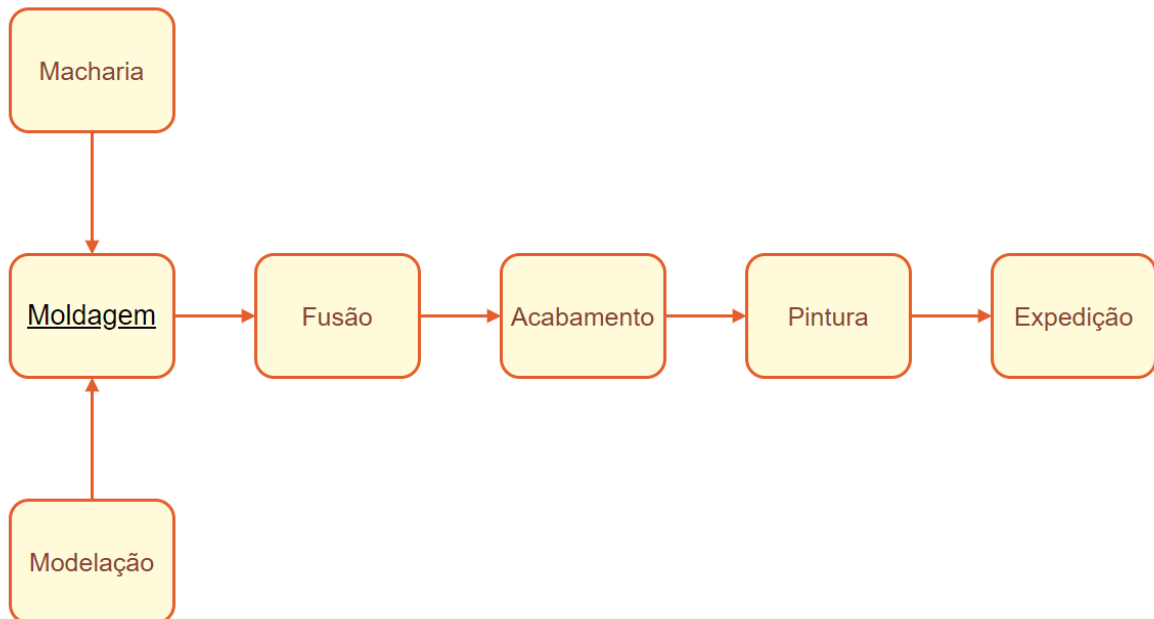
### 4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO ESTUDADO

O processo de fabricação das peças segue um processo relativamente simples, como é exemplificado na Figura 12. O processo inicia com a confecção dos machos, que fazem as partes ocas das peças e dos modelos que são a representação da própria peça, o próximo passo é a linha de moldagem.

O processo de moldagem é onde os dois primeiros passos são unidos para poder se confeccionar os moldes de areia, para então os metais específicos serem fundidos e despejados dentro desses moldes.

Após o vazamento do metal líquido e as peças estarem frias novamente, é necessário fazer o acabamento e pintura das peças para poder então despacha-las aos clientes finais.

**Figura 12 - Fluxograma da Produção**



**Fonte: Autor (2021)**

O processo de moldagem que está em destaque na Figura 12, é o processo de moldagem a cura a frio, onde os materiais necessários para confecção como areia, bentonita, carvão, aglomerante e tinta são adquiridas de maneira rápida, mas como a utilização é muito grande existe estoque desses materiais.

As ordens de produção são feitas por lotes, na qual possuem a quantidade exata de cada componente a serem confeccionados assim como as caracterizações de cada metal e tipo de produção.

Contudo a quantidade de peças produzidas varia de acordo com os turnos trabalhados e para isso são feitas reuniões diárias onde são feitas as definições e são repassadas as prioridades de produção.

Cada lote de produção é formado através da análise de pedidos e estoque no supermercado, o qual é controlado pelo PCP (Programação e Controle de Produção) da empresa.

Existe uma grande demanda de diferentes peças sendo feitas nas mesmas linhas de produção, pois todas são produzidas de maneira semelhantes, podendo ser totalmente automatizadas onde os insumos são inseridos em uma máquina e todo o processo é feito automaticamente ou são parcialmente automatizados. No processo que envolve mais mão de obra, é a linha de produção que será definida a família de produtos a ser estudada.

#### 4.2 FAMÍLIA DE PRODUTO ESTUDADA

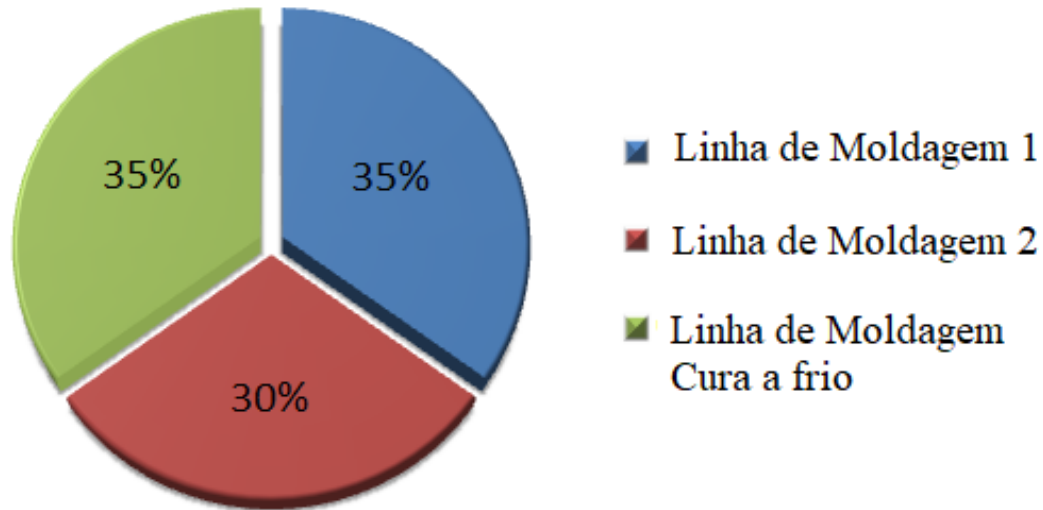
Seguindo a lógica de construção do mapa de fluxo de valor, o primeiro passo é focalizar em uma família de produtos a ser estudada, no caso, o foco do estudo não é um produto que será destinada a um consumidor final, e sim a outro processo dentro da fábrica, que se torna o cliente.

O produto selecionado são os moldes que serão usados para fabricação das peças, assim todos os moldes desta linha de produção são produzidos de maneira igual, mudando apenas suas características.

A empresa em estudo tem três linhas de produção: duas automatizadas que produzem os moldes de areia de forma autônoma, e são destinadas a peças de pequeno e médio porte, a terceira é a linha da cura a frio, e é destinada a peças de médio e grande porte, usualmente quando não é possível colocar nas linhas de produção automatizadas, representando 35% de toda a produção de moldes, conforme demonstrada na Figura 13.

Figura 13 - Demanda de Produção das Linhas de Produção

## Linhas de Moldagem



Fonte: Autor (2021)

Desta forma, através da divisão de famílias de produtos, foi definido que o estudo do mapeamento de fluxo de valor deveria ser feito dentro linha de produção, em específico a linha de produção da cura a frio, visto as vantagens que este processo apresenta.

A decisão tomada foi de comum acordo com a empresa, uma vez que está também dava preferência para que este fosse o produto alvo do estudo. Todos os dados referentes ao processo foram repassados pela empresa e coletados por tomadas de tempos, durante quatro meses de atuação dentro da fábrica, a qual facilitou o acesso a uma série de informações sobre o fluxo de produção e informação, para assim poder fazer a determinação do *Takt-Time* e para o balanceamento de carga dos operadores, foram coletadas informações referentes a esse processo.

### 4.3 DESENVOLVIMENTO DO MAPA DE FLUXO DE VALOR

Com os procedimentos iniciais definidos, a sequência do estudo do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor), deu-se através da confecção do mapa do estado atual. Como citado anteriormente o produto escolhido, foi a linha de produção da cura a frio, por ser relevante no

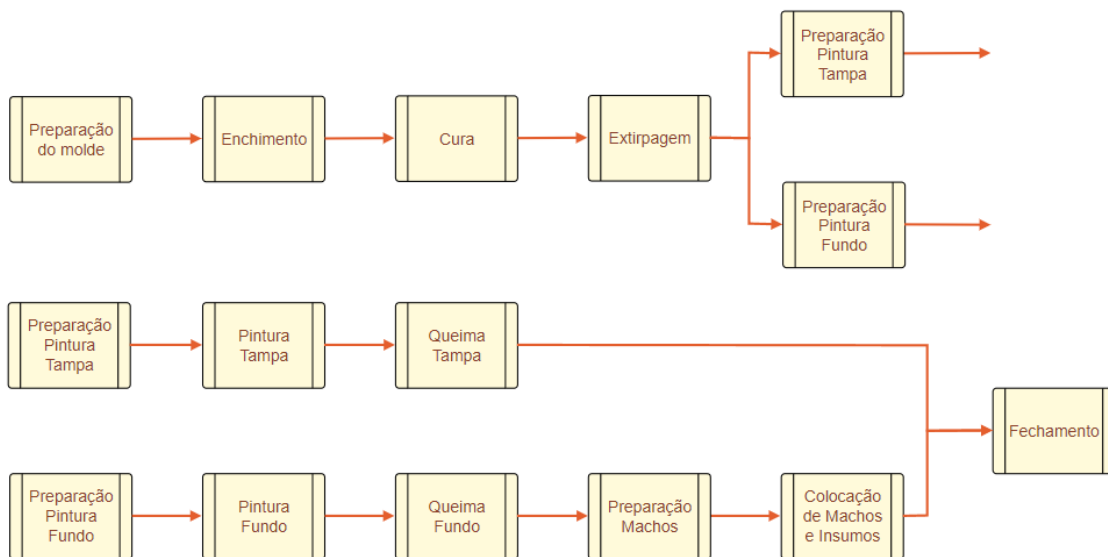
faturamento da empresa, apresentar muitos processos manuais além da representatividade em relação a produção da empresa.

Neste momento faz-se necessário um conhecimento mais amplo sobre o processo do produto em estudo, ou seja, como é produzido este produto. A produção do molde passa por várias operações menores, as quais podem ser divididas em macro operações. Além de existir um processo técnico oriundo da engenharia, um processo administrativo para a venda e entrada na produção, este passando pelos setores de PCP (Programação e Controle de Produção), comercial, compras e financeiro.

O processo de fabricação dos moldes de areia tem início a partir da preparação do molde fixo de metal, para então passar para o processo de enchimento, que após ser completamente preenchido por areia fica aguardando o tempo de cura da areia.

Depois da resina ter solidificado é feita a extirpagem do molde de areia de dentro do molde fixo, para assim ser feita pintura interna. Após a pintura, são montados os machos e por fim o fechamento dos moldes, onde se encerra a linha. As etapas de produção dos moldes de areia podem ser observadas no fluxograma da Figura 14.

**Figura 14 – Fluxograma do Processo de Cura a Frio**



**Fonte: Autor (2022)**

A operação ainda se divide a partir de um momento, pois o molde completo de areia é composto por tampa e fundo, assim, a partir do enchimento a linha se divide em duas. Uma parte é necessária para produção do fundo e outra para a produção da tampa, contudo as operações são diferentes, devido à complexibilidade de se produzir o fundo do modelo de areia. Na parte da tampa só é necessário a pintura e queima, enquanto no fundo são acrescentados os outros processos.

Para cada operação existe apenas uma máquina disponível, contudo a única que se torna limitante é a máquina responsável pelo enchimento dos moldes, pois ela deve seguir um ritmo constante e controlado de mistura e enchimento.

No que diz respeito aos turnos de trabalho, a empresa conta com um turno diurno, um noturno e um intermediário que não faz parte da aplicação do estudo, por se tratar de um momento de não linearidade do processo.

#### 4.3.1 Análise do Processo Produtivo

O processo de produção dos moldes não é um processo simples, pois envolve 12 etapas que devem ser completadas. Inicia-se com a preparação dos moldes fixos de metal, depois passa pelo processo de enchimento com areia e aglomerante. Após o molde fixo ser cheio, a areia precisa de um tempo de cura para adquirir o formato do molde fixo, para então passar pelo processo de extirpagem o qual remove o molde de areia de dentro do molde fixo.

Segue então para os processos de preparação e pintura, queima da tinta, preparação dos machos, colocação dos machos e insumos e fechamento do molde, processos que são detalhados no Quadro 2.



Quadro 2 - Descrição Detalhada das Operações Envolvidas no Processo

	<b>ATIVIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROCESSO</b>
1	Preparação do Molde	Processo no qual o modelo fixo, o qual dará formato ao molde de areia, é colocado na linha, limpo, ajustado, inseridos incertos, canais de descida, saídas de ar para então dar início ao processo.
2	Enchimento	Após a preparação do modelo fixo, ele é enchido com uma mistura de areia com aglomerante, responsável por endurecer a areia no formato do molde.
3	Cura	Como a areia é misturada com aglomerante para poder ficar no formato do modelo fixo, é necessário um tempo de cura da areia para poder ficar resistente e assim poder retirar o molde de areia do modelo fixo.
4	Extirpagem	Processo de retirar o molde de areia de dentro do modelo fixo, e o posicionar novamente na linha de produção para o processo seguinte.
5	Preparação e Pintura Tampa	Após o molde de areia ser retirado, ele passa por um processo de limpeza e ajuste, para então ser pintado com uma tinta refrataria, responsável por melhorar o acabamento e sustentação do molde.
6	Queima Tampa	Como a pintura também necessita de um tempo de cura, é necessário deixar descansando, contudo, é possível adiantar o processo queimando o excedente de tinta.
7	Preparação e Pintura Fundo	Após o molde de areia ser retirado, ele passa por um processo de limpeza e ajuste, para então ser pintado com uma tinta refrataria, responsável por melhorar o acabamento e sustentação do molde.
8	Queima Fundo	Como a pintura também necessita de um tempo de cura, é necessário deixar descansando, contudo, é possível adiantar o processo queimando o excedente de tinta.
9	Preparação Machos	As partes ocas das peças são feitas a partir de machos inseridos dentro do molde, como em muitas peças existe a necessidade de mais de um macho, logo é preciso fazer a montagem dos mesmos antes.
10	Colocação do Machos e Insumos	Com os machos preparados e montados, é feito a montagem dentro do molde de areia, além de inserir outros insumos necessários, como filtros, chapelins, luvas, etc.
11	Fechamento	Por fim, o fechamento é feito entre tampa e fundo, para que o molde esteja completo e possa ser passado para a linha de produção subsequente.

Fonte: Autor (2021)

Existe apenas uma máquina para cada tipo de operação dentro do processo, desta forma a disponibilidade das máquinas para a fabricação da família de produtos em estudo é limitada, a menos que haja um investimento em novas máquinas. Além de que durante o processo existe uma separação na linha de produção, onde os moldes são divididos em tampa e fundo, ao qual posteriormente são unidos para formar o molde completo.

#### 4.3.2 Análise do Fluxo de Produção

Para desenhar o mapa de fluxo de valor do estado atual, se tornam necessárias análises referentes ao fluxo de produção do produto em estudo. Estas análises serão descritas com o objetivo de elucidar o processo para a confecção do mapa atual.

É importante salientar que para o estudo do processo produtivo da família de produtos escolhida, os tempos coletados de processamento não foram de um modelo específico de areia. O processo é muito parecido para toda a variedade de peças que empresa produz, podendo assim levar em consideração todas as operações que vários moldes passavam durante o processo de produção, sem precisar deixar específico algum modelo.

A disponibilidade de máquinas é um ponto relevante que deve ser considerado para a família de produto em estudo, apesar de não ser considerado um problema. Contudo um fator limitante são funcionários qualificados, pois existe um enorme giro de funcionários dentro da empresa, sendo assim, é sempre necessário qualificar o novo funcionário, e este por sua vez, permanece pouco tempo, implicando no rendimento da produção da empresa.

Como a disponibilidade de máquinas e pessoas, os tempos de ciclos são de suma importância para o estudo proposto, logo serão considerados neste estudo, o tempo de ciclo como sendo o tempo necessário para processar todos os componentes e processos para que o molde de areia seja concluído.

Nas atividades que são desempenhadas por mais de um funcionário ou máquina, o tempo de ciclo será considerado, a divisão do tempo de ciclo total da atividade pelo número de funcionários ou pela quantidade de máquinas disponíveis para aquela atividade.

Na avaliação dos tempos de ciclos, foi considerado o número de trabalhadores envolvidos apenas no processo produtivo da família de produtos escolhida, apesar dos setores apresentarem um número real maior de funcionários em cada setor. Isso acontece porque alguns funcionários apenas atuam na produção de determinados produtos e outros desenvolvem várias atividades.

Avaliando-se o fluxo de material observa-se que há um fluxo contínuo entre as operações, gerando poucos estoques intermediários entre as atividades e os setores, e sendo considerado um *UPTIME* (disponibilidade da máquina) de 70% por se considerar um processo que envolve muitas interações manuais.

O processo se inicia com a preparação do molde, processo no qual o molde fixo é colocado na linha, limpo, ajustado, inseridos os incertos, canais de descida e saídas de ar e para então dar início ao processo. Neste processo é que é delimitado o T/R que é o tempo de troca, pois a partir dele é que é definido qual tipo de peça que será feito o molde de areia, processo que conta com apenas um funcionário e não é considerado gargalo.

Após a preparação do molde fixo, o molde é cheio com uma mistura de areia com aglomerante, este que é responsável por endurecer a areia no formato do molde fixo, formando o molde de areia, são necessários dois funcionários para poder ser feito o preenchimento de maneira completa. Este é um ponto de gargalo encontrado na linha de produção, pois o tempo de ciclo é delimitado pelo misturado responsável por fazer a mistura de areia.

Como a areia é misturada com aglomerante e outros componentes para poder ficar no formato do molde, é necessário um tempo de cura para areia poder solidificar e adquirir o formato do molde fixo e assim poder retirar o molde de areia. Processo que não necessita auxílio de funcionários, pois o tempo de permanência na linha é suficiente para fazer a cura do mesmo.

A extirpagem é o processo de retirar o molde de areia de dentro do molde fixo, após a cura da areia, e o posicionar novamente na linha de produção para o processo seguinte, ponto ao qual a linha de produção se divide em duas: uma parte produz e ajusta a tampa, e outra produz e ajusta o fundo. Para este processo é necessário apenas um funcionário que faz a extração e posiciona cada parte em sua respectiva linha.

Após o molde de areia ser retirado e cada parte seguir por sua linha, ele passa por um processo de limpeza que remove quaisquer impurezas possam estar dentro do molde, ajustes caso algum ponto tenha sido quebrado, para então ser pintado com uma tinta refratária que é responsável por melhorar o acabamento e sustentação do molde de areia.

Como a pintura também necessita de um tempo de cura, é necessário deixar descansando, contudo, é possível adiantar o processo queimando o excedente de tinta que fica no molde onde é necessário apenas um funcionário para fazer a pintura e a queima da tinta.

Na parte da tampa os processos acabam com a queima da tinta, já na parte do fundo são feitos mais alguns processos, como a colocação dos machos e insumos. As partes ocas das peças são feitas a partir do de machos inseridos dentro do modelo, como em muitas peças existe a

necessidade de mais de um macho, logo é preciso fazer a montagem e ajustes antes de se inserir no modelo de areia, processo realizado por apenas um funcionário.

A partir do ajuste os machos preparados e montados, são montados dentro do molde de areia, além de inserir outros insumos necessários, como filtros, chapelins, luvas, entre outros. Por se tratarem de peças grandes e delicadas, é preciso dois funcionários para poder encaixar e ajustar no modelo, é um processo muito crítico, pois é o maior causador de falhas humanas no processo.

E para o processo final, o fechamento é feito entre tampa e fundo, para que então o molde completo de areia possa ser passado para a linha de produção subsequente que é a parte de vazamento de metal, processo que utiliza a mão de obra de um funcionário.

Ressalta-se a importância do treinamento dos funcionários e melhorias no processo de ajuste dos machos e principalmente na colocação dos insumos, por se tratar de um processo crítico que é plausível de falhas.

Observou-se que há acúmulos de materiais e peças paradas entre os processos, dificultando o acesso a máquinas e consumindo tempo na procura por ferramentas, peças e produtos, devido a desordem. Sugere-se que seja feita uma limpeza no chão de fábrica, separando os materiais não usados e retirando do processo, assim possibilitando um ambiente fabril mais organizado, fazendo com que o fluxo do processo ocorra sem interrupções, diminuindo tempos perdidos por espera e procura por materiais.

Quanto à produtividade da empresa e em específico de cada setor, constata-se que os funcionários envolvidos não são informados quanto às metas de produção. Uma indicação de melhoria é realizar um controle de produção através de quadros indicativos, possibilitando assim, para o líder do setor tomar providências antecipadas quando não alcançado as metas de produção.

O acompanhamento do processo de produção ocorreu durante o período de quatro meses para o levantamento de dados necessários para a confecção do mapa atual, o qual demandou algumas semanas entre debates e discussões entre encarregados de setores, gerentes e setores de PCP (Programação e Controle de Produção) e engenharia.

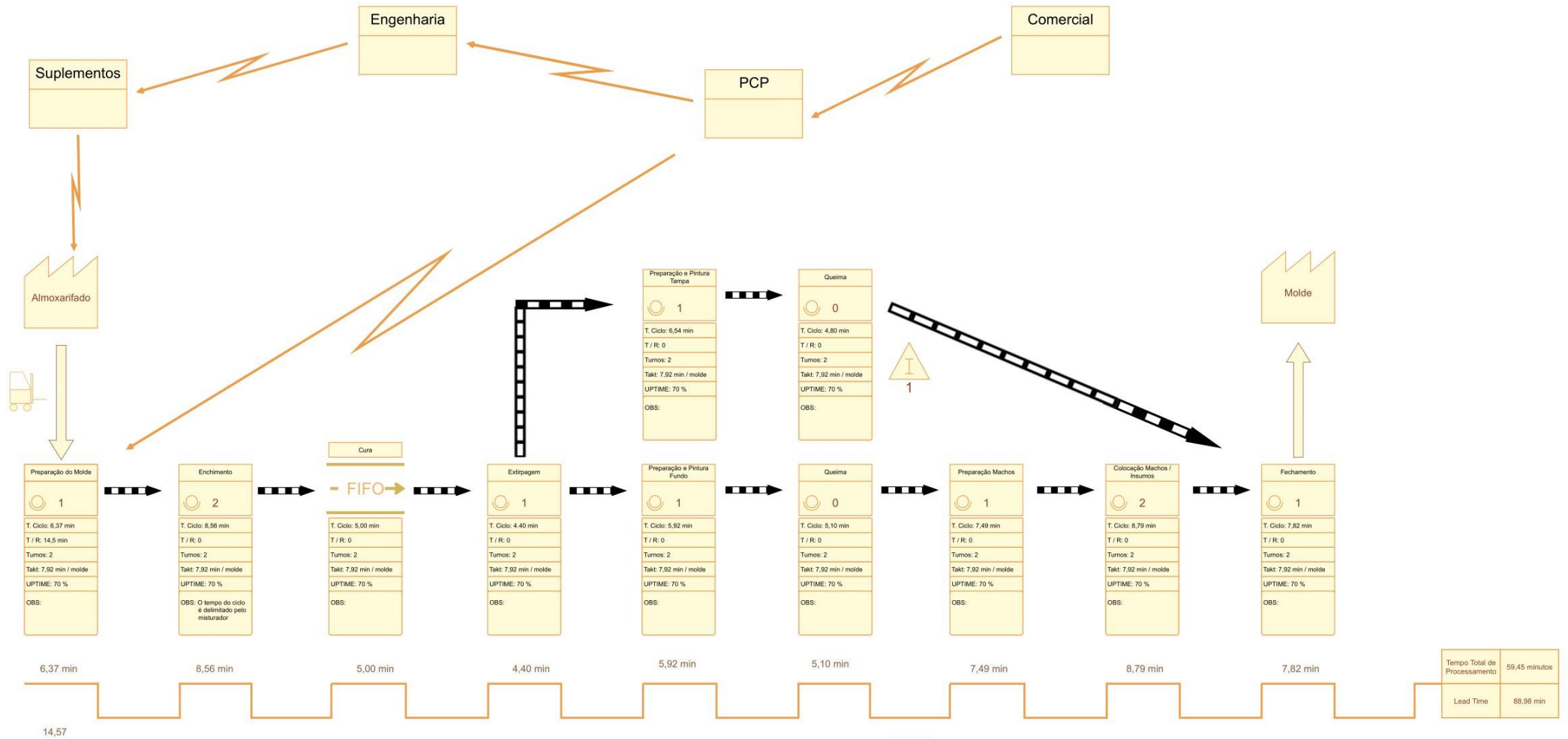
Assim foi possível representar da melhor forma a realidade da empresa e do processo produtivo, e a partir dos dados coletados até o momento, é possível desenhar o mapa de fluxo do estado atual do processo produtivo da família de produtos estudada.

#### 4.4 MAPA ESTADO ATUAL

A aplicação do mapa de fluxo de valor é de extrema importância para identificar possíveis melhorias no processo produtivo como um todo, e se torna base e norteador para qualquer mudança ou melhoria que se queira implantar dentro do processo produtivo da família de produtos escolhida, assim, a partir da obtenção dos dados. Considerando todos os pontos e informações, foi possível criar e desenhar o mapa de fluxo de valor atual e dar início ao desenho do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) do estado futuro.

Para entender a capacidade produtiva, identificar desperdícios e pontos de melhoria no processo, foi realizado um mapeamento de processo do fluxo de valor do estado atual, por meio de visitas in loco, entrevistas com os encarregados das operações e observações do fluxo de atividades. Com estes mecanismos foram levantados os tempos utilizados na construção do mapa do fluxo de valor do estado atual Figura 15.

Figura 15 - Mapa do Estado Atual



Fonte: Autor (2022)

O desenvolvimento do mapa atual possibilitou observar outros desperdícios que acontecem na linha, como movimentações desnecessárias, limitações de tecnologia, transporte, defeitos e organização conforme demonstrada no Quadro 3.

**Quadro 3 - Desperdícios do Processo**

<b>DESPERDÍCIOS DO PROCESSO</b>	
<b>Teórico</b>	<b>Descrição do Processo</b>
Movimentações Desnecessárias	Deslocamentos desnecessários dos operadores ao selecionar e pegar as ferramentas necessárias para a produção dos moldes de areia.
Limitações de Tecnologia	Falta de capacitação dos funcionários, melhorias de máquinas e equipamentos, quebras constantes além da necessidade de um sistema de controle virtual de produção.
Transporte	Difícil movimentação entre as etapas do processo devido ao peso dos itens além de não haver nenhum sistema de ajuda.
Defeitos	Retrabalho gerado devido a erros operacionais, equipamentos defeituosos, além de problemas oriundo de outros setores.
Organização	Setor faltando organização, espaço para trabalhar e limpeza.

**Fonte: Autor (2022)**

O mapa do fluxo de valor do estado atual apresenta os indicadores de cada etapa, como o tempo de ciclo e o tempo de processamento, além dos indicadores globais do processo, como o *lead time* que é calculado a partir do somatório dos tempos de agregação de valor, que é o tempo efetivo de produção dos moldes de areia e o tempo de não agregação de valor que é o tempo desperdiçado durante a linha Quadro 4.

**Quadro 4 - Tempos de Acordo com o Processo**

ATIVIDADE		TEMPOS		ATIVIDADE		TEMPOS		
1	Preparação do Molde	Tempo de Agregação de Valor	6,37	6	Queima Tampa	Tempo de Agregação de Valor	4,80	
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	14,57			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00	
2	Enchimento	Tempo de Agregação de Valor	8,56	7	Preparação e Pintura Fundo	Tempo de Agregação de Valor	5,92	
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00	
3	Cura	Tempo de Agregação de Valor	5,00	8	Queima Fundo	Tempo de Agregação de Valor	5,10	
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	14,96	
4	Extirpagem	Tempo de Agregação de Valor	4,40	9	Preparação Machos	Tempo de Agregação de Valor	7,49	
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00	
5	Preparação e Pintura Tampa	Tempo de Agregação de Valor	6,54	10	Colocação do Machos e Insumos	Tempo de Agregação de Valor	8,79	
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00	
				11	Fechamento	Tempo de Agregação de Valor	7,82	
						Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00	Tempo de NÃO Agregação de Valor
							Tempo Total de Processamento	59,45
							LEAD TIME	88,98

**Fonte: Autor (2022)**

Com base em todos os pontos destacados, se torna possível fazer a análise do mapa atual, para então serem discutidas as propostas e de melhoria e conseqüentemente desenhar o mapa do estado futuro.

#### 4.4.1 ANÁLISE DO MAPA DO ESTADO ATUAL

Com base em Slack e Correia (2009) foram elaboradas as fórmulas, e para os cálculos dos tempos que agregam valor foram realizados a partir da soma dos tempos de ciclo das etapas de produção.

Para os tempos de não agregação de valor, foi feita a soma dos tempos de espera entre as etapas, com isso pode ser calculado o *lead time* Eq. 1, a partir da soma dos tempos desde o início do processo até o instante de saída do produto final, sendo considerados os tempos de agregação de valor, não agregação, movimentação e estoque.



$$Lead\ Time = \sum T_{AV} + \sum T_{NAV} \quad (1)$$

$$Lead\ Time = \\ \sum Tempos\ de\ Agregação\ de\ Valor \\ + \sum Tempos\ de\ Não\ Agregação\ de\ Valor$$

$$Lead\ Time = 59,45\ min + 29,53\ min$$

$$Lead\ Time = \mathbf{88,89\ min}$$

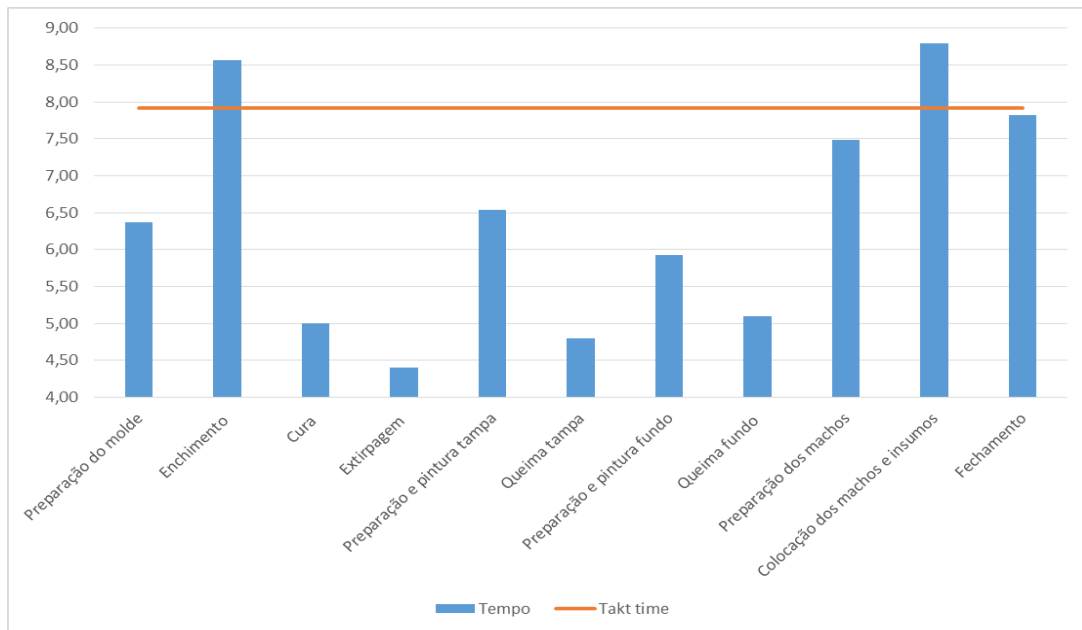
O cálculo do *Takt-Time* Eq.2 é definido como a divisão do tempo total da produção disponível pela demanda média do cliente, e o ideal é que seja apenas considerado o tempo de produção.

$$Takt\ Time = \frac{Horas\ Trabalhadas\ por\ Dia * Dias\ Úteis\ Mês}{Meta\ da\ Produção\ Estabelecida\ pelo\ PCP} \quad (2)$$

$$Takt\ Time = \frac{16,5h * 21,5\ dias * 60}{125\ moldes * 21,5\ dias}$$

$$Takt\ Time = \mathbf{7,92\ min/moldes}$$

Após feito o gráfico da relação de tempos de processamento e utilizando o *Takt -Time* como comparação é possível ter o conhecimento dos processos que estão acima do estabelecido, para poder então serem realizadas ações sobre os mesmos, conforme Figura 16.

**Figura 16 - Comparação dos Tempos de Processo com o Takt - Time**

**Fonte: Autor (2022)**

Os processos que se destacam são o enchimento e a colocação dos machos e insumos. O processo de enchimento do molde fixo pode ser dividido em sete etapas, iniciando com o processo de pegar o molde fixo, ligar o misturador, encher o molde fixo com a mistura de areia e aglomerante, desligar o misturador, ligar a base vibratória, passar a régua sobre a superfície da caixa e movimentar a caixa para a cura.

Dentro deste processo, o que mais demora é o processo de enchimento da caixa, que resulta em 80% do tempo total deste processo, onde seria um ponto muito válido de melhoria, contudo, este tempo de enchimento está ligado com a capacidade da máquina, que já trabalha em seu limite, logo, para se obter uma melhoria significativa é necessário a substituição do equipamento, procedimento que não é aplicável para o presente trabalho.

O processo de colocação dos machos e insumos é um processo manual, que inicia com os funcionários pegando o molde de areia e o posicionando do local de trabalho, passando cola nos locais onde os moldes de areia serão apoiados. Em sequência pegando e posicionando os machos com ajuda de um dispositivo específico ou gancho utilizando a talha, colocação de filtros para metal, saídas de ar, outros insumos necessários ao processo para então fazer o deslocamento para o próximo processo, conforme Quadro 5.

**Quadro 5 - Processo de Colocação de Machos e Insumos**

<b>Processo de Colocação de Machos e Insumos</b>	
1	Pegar o molde de areia do processo anterior
2	Passar cola para a fixação da tampa e fundo
3	Colocar os machos nos moldes de areia
4	Colocar filtros necessários ao processo
5	Colocar saídas de ar
6	Adicionar outros itens necessários
7	Deslocar o molde para o próximo processo

**Fonte: Autor (2022)**

Por se tratar de um processo totalmente manual, e variar de acordo com o tipo de peças, os tempos de trabalho tem grande variação, desde sendo o processo mais rápido da linha até o processo mais lento.

Pela média dos tempos, este processo ainda é o processo gargalo de toda linha de produção, principalmente pela falta de coordenação e controle por parte dos funcionários, pois não existe uma sequência definida para a execução deste processo, onde fica a cargo dos funcionários decidirem qual é a melhor sequência de posicionamento além da falta de organização e espaço físico para o trabalho. Outro ponto importante que impacta neste processo, é a demora do funcionário buscar, escolher e separar os insumos para posicionar nos moldes.

Observou-se que há acúmulos de materiais e peças paradas entre os processos, dificultando o acesso a máquinas e consumindo tempo na procura por ferramentas, peças e produtos, devido a desordem. Quanto à produtividade da empresa e em específico de cada setor, constata-se que os funcionários envolvidos não são informados quanto às metas de produção.

#### 4.5 PROPOSTA DE MELHORIA

Após a análise do mapa atual, foi possível ressaltar alguns pontos que podem ser alterados ou melhorados.

Sugere-se que seja feita uma limpeza no chão de fábrica, separando os materiais não usados e retirando do processo, assim possibilitando um ambiente fabril mais organizado, fazendo com que o fluxo do processo ocorra sem interrupções. Possibilitando assim a diminuição dos tempos perdidos por espera e procura por materiais, entre outros processos que foram destacados no Quadro 6 como a aplicação do 5S. O 5S é um programa de gestão de qualidade empresarial que visa aperfeiçoar aspectos como organização, limpeza e padronização.

**Quadro 6 – Proposta Melhoria dos Desperdícios**

<b>DESPERDÍCIOS DO PROCESSO</b>	
<b>Teórico</b>	<b>Descrição do Processo</b>
Movimentações Desnecessárias	Melhor posicionamento das ferramentas, para que as que tenham mais utilização fiquem sempre a disposição, organização, padronização, limpeza, e treinamento.
Limitações de Tecnologia	Treino e praticas de utilização, possíveis melhorias para máquinas e equipamentos.
Transporte	Criação de um dispositivo que facilite o transporte, estudo para automatização da linha.
Defeitos	Treinamentos, substituição dos equipamentos defeituoso e implementação do controle de qualidade em cada setor.
Organização	Aplicação 5S.

**Fonte: Autor (2022)**

Uma indicação de melhoria é realizar um controle de produção através de quadros indicativos, possibilitando assim, para o líder do setor tomar providências antecipadas quando não alcançado as metas de produção.

O primeiro ponto de melhoria em relação ao MFV (Mapeamento do fluxo de valor) é a alteração da linha de produção, sendo a proposta retirar o processo de preparação dos machos da linha. Retirando este processo e o colocando paralelamente a preparação de machos e insumos, torna-o uma parte externa da linha de produção, podendo consequentemente diminuir

o tempo de processamento total da linha, uma redução de 7,49 minutos nos tempos de processamento e *Lead Time* Quadro 7.

**Quadro 7 - Tempo de Processamento Atualizado**

ATIVIDADE		TEMPOS		ATIVIDADE		TEMPOS	
1	Preparação do Molde	Tempo de Agregação de Valor	6,37	6	Queima Tampa	Tempo de Agregação de Valor	4,80
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	14,57			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00
2	Enchimento	Tempo de Agregação de Valor	8,56	7	Preparação e Pintura Fundo	Tempo de Agregação de Valor	5,92
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00
3	Cura	Tempo de Agregação de Valor	5,00	8	Queima Fundo	Tempo de Agregação de Valor	5,10
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	14,96
4	Extirpagem	Tempo de Agregação de Valor	4,40	9	Colocação do Machos e Insumos	Tempo de Agregação de Valor	6,86
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00
5	Preparação e Pintura Tampa	Tempo de Agregação de Valor	6,54	10	Fechamento	Tempo de Agregação de Valor	7,82
		Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00			Tempo de NÃO Agregação de Valor	0,00
		Tempo Total de Processamento	50,03			LEAD TIME	79,56

**Fonte: Autor (2022)**

Para poder ser feita essa melhoria, este processo deve receber informações de qual molde de areia será feito diretamente do PCP (Programação e Controle de Produção), com está implementação, retira-se o processo da linha, ganhando assim o tempo de processamento que ela então ocupava. Contudo, esse processo precisa ser sequenciado por um estoque *FIFO* (*First In First Out*) que estabelece uma sequência para todas as movimentações de estoque.

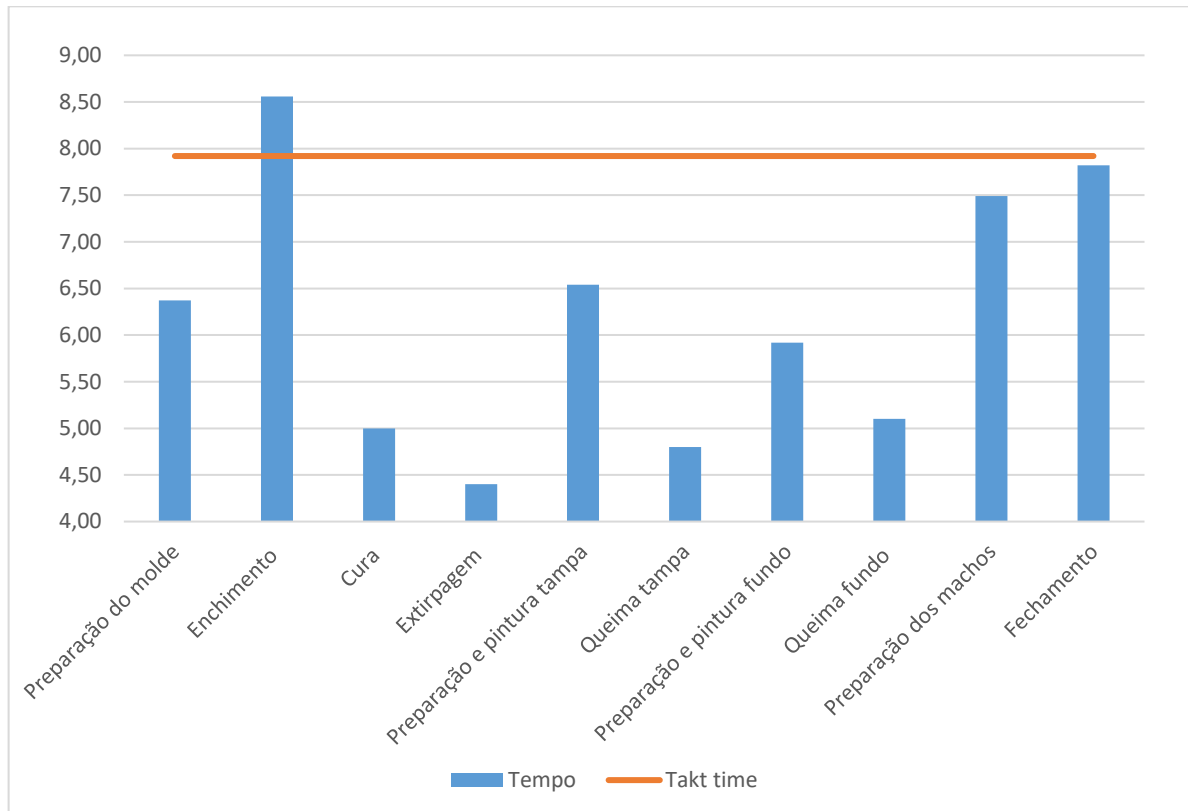
Não importa se o produto é um insumo, uma matéria-prima, uma *commodity* (produtos básicos globais não industrializados, ou seja, matérias-primas que não se diferem independente de quem as produziu ou de sua origem, sendo seu preço uniformemente determinado pela oferta e procura internacional) ou um bem acabado.

Acima de tudo, o *FIFO* (*First In, First Out*) determina que o primeiro lote a entrar no estoque da empresa deve ser o primeiro lote a sair ou ser entregue à produção da corporação ou operações futuras, para assim seguir as ordens de produção e não gerar gargalos na linha.

Outro ponto de melhoria é em relação ao processo de colocação de machos e insumos, onde o principal ponto a se destacar é o tempo de deslocamento do funcionário, causado pela falta de organização e pela falta de um local adequado para armazenamento dos insumos que são utilizados. Logo, a proposta de melhoria para este ponto é a instalação de prateleiras que

facilitam para o funcionário pegar os objetos necessários diminuindo o tempo de deslocamento além da padronização das operações. Esta implementação das operações previamente aplicadas em teste geraram uma redução de 1,93 minutos no tempo de processamento o que representa um ganho de aproximadamente 22%, conforme Figura 17.

**Figura 17 - Nova Comparação dos Tempos de Processo com o Takt-Time**



Fonte: Autor (2022)

A aplicação desta melhoria resultaria em tempo de processamento deste processo abaixo do *Takt-Time* estabelecido, além de um melhor balanço em relação aos tempos da linha.

#### 4.7 MAPA DO ESTADO FUTURO

Para o desenvolvimento do mapa futuro Figura 18, o primeiro ponto foi o deslocamento do processo de preparação dos machos e insumos da linha, processo que pode ser feito paralelamente ao processamento da linha, apesar da necessidade de acrescentar um estoque intermediário, este não afetando os tempos nem o processo da linha. Portanto permitindo assim a diminuição do tempo de produção.

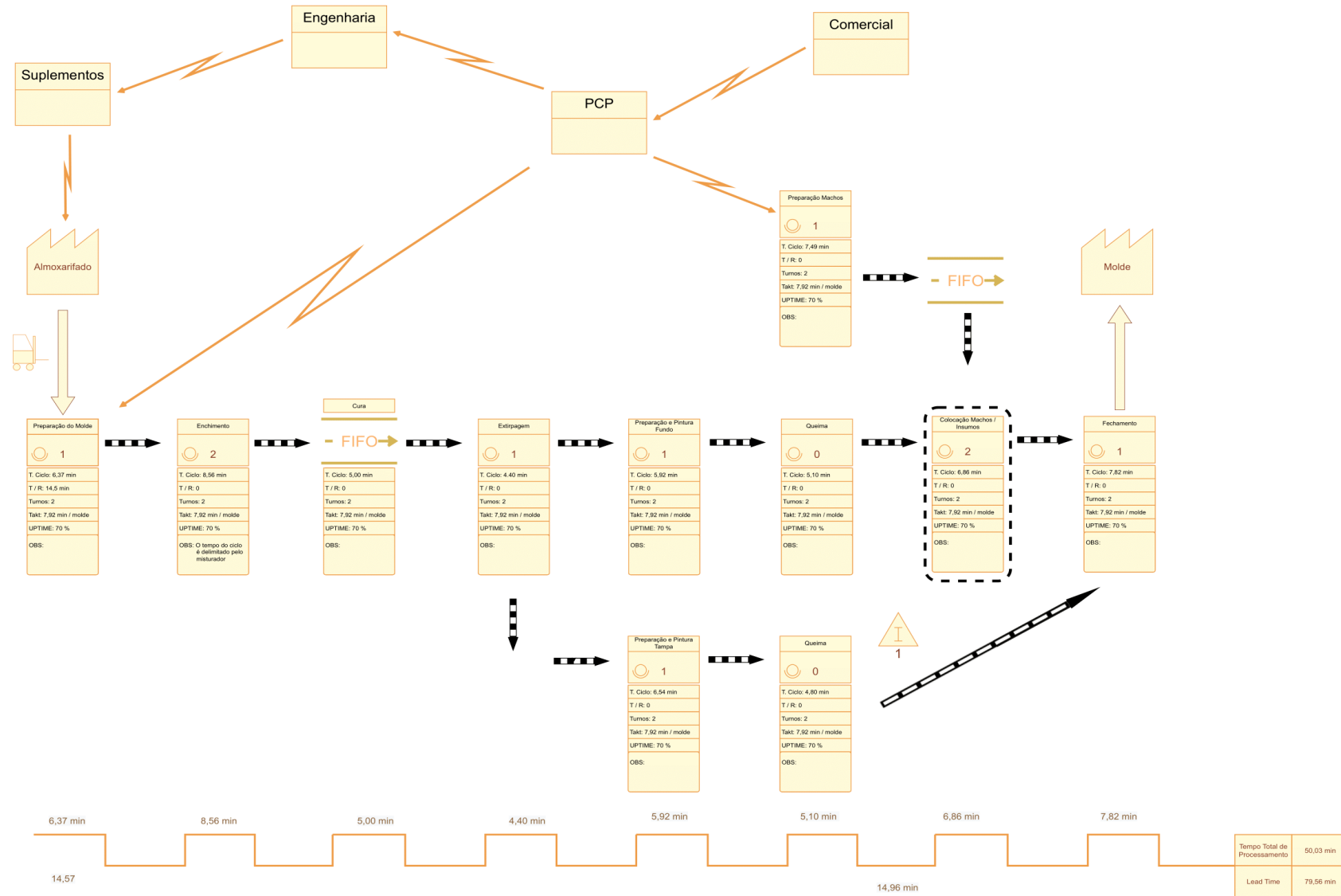
O segundo ponto foi o ajuste e controle do processo da colocação de machos e insumos, onde se torna necessário uma reorganização dos itens necessários através da inclusão de prateleiras que facilitem o acesso aos itens mais utilizados.

A implementação de um fluxograma detalhando as operações de cada funcionário, juntamente com um quadro *Kanban*, que é um quadro dividido em colunas e raias onde cada coluna representa uma etapa do fluxo de trabalho e as raias separam diferentes tipos de atividades realizadas pelos funcionários.

Alterações estas, que proporcionam a redução do tempo de deslocamento, como também um controle com a delimitação de tarefas específicas para cada funcionário.

As presentes melhorias propostas, não só tornam a produção mais eficiente, como também diminuem os desperdícios e impactam diretamente na qualidade do serviço, resultando em uma boa entrega de produtos, conclusão de cronogramas dentro do prazo e consequentemente o aumento da satisfação dos clientes, fatos que se convertem em lucro para a companhia.

Figura 18 - Mapa do Estado Futuro



Fonte: Autor (2022)



## CONCLUSÃO

Por meio da elaboração do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) do estado atual foi possível visualizar todo o processo produtivo e identificar as fontes de desperdícios do processo, desenvolvimento que foi feito a partir de dados obtidos in loco, tomadas de tempo, consulta com gestores, técnicos e outros funcionários.

A aplicação das práticas do Lean Manufacturing e o desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) confirmaram com a literatura, permitindo reafirmar que esta técnica é de extrema importância para a melhor compreensão do processo como um todo, além de adotar uma linguagem comum para representar as atividades.

Além disso, com o levantamento dos tempos de agregação e de não agregação de valor foi possível identificar as etapas do processo que mais desperdiçam tempo com atividades que não agregam valor ao produto.

Assim, visando uma maior produtividade pela redução dos desperdícios, foram propostas as implementações de algumas das técnicas, ferramentas e práticas adotadas pelo sistema *Lean Manufacturing*.

As alterações e mudanças feitas no processo e com as melhorias de processo idealizadas, possibilitaram uma redução dos desperdícios identificados. Através da aplicação do MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) do estado atual e as propostas de melhorias é possível ter um potencial de ganho de produtividade de 22% no processo de colocação de machos e insumos.

Isto denota a efetividade das práticas *Lean Manufacturing* no aumento da produtividade e na redução da quantidade de materiais em processo e do tempo médio do produto no sistema.

Como resultado, tem-se um menor tempo para a tomada de decisão e envolvimento de menores custos operacionais antes de se adotar as ações que impactem o processo. A possibilidade de testar alternativas antes da implementação reduz o impacto que a abordagem tradicional implica, na qual custo e tempo podem ser desperdiçados no ajuste in loco de soluções avaliadas precariamente.

Como proposta para futuros trabalhos, recomenda-se o estudo mais aprofundado dos impactos do *Lean Manufacturing*, com o objetivo de abranger mais variáveis e os outros processos da empresa.

## Referências

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico e do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>>. Acesso em 30 de agosto de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA. **Desempenho do setor de fundição Dezembro de 2020**. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/indices-setoriais>>. Acesso em 30 de agosto de 2021.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipea revisa para 4,5% a previsão de crescimento do PIB em 2021**. Disponível em: <[https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38810#:~:text=Para%202021%2C%20a%20proje%C3%A7%C3%A3o%20atualizada,que%20vieram%20abaixo%20do%20esperado.](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=38810#:~:text=Para%202021%2C%20a%20proje%C3%A7%C3%A3o%20atualizada,que%20vieram%20abaixo%20do%20esperado.)>. Acesso em 30 de agosto de 2021.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas – Elimine o Desperdício e Crie Riquezas**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J, P; JONES, D, T; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 5.ed. Rio de Janeiro: Campus. 1992.

SHOOK, J e ROTHER, M; – **Learning to see – Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda**. The Lean Enterprise Institute. Massachusetts, EUA, 1998.

TUBINO, D.F. **O Planejamento e Controle da Produção – Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Mapeamento do fluxo de valor (VSM) - Estado Atual e Futuro 2010**. Disponível em: < [https://www.lean.org.br/conceitos/72/mapeamento-do-fluxo-de-valor-\(vsm\)---estado-atual-e-futuro.aspx](https://www.lean.org.br/conceitos/72/mapeamento-do-fluxo-de-valor-(vsm)---estado-atual-e-futuro.aspx)>. Acesso em: 10 setembro, 2021.

CHIAVENATO, Idalberto. **Planejamento e controle da produção**. São Paulo: Editora Manole, 2008.

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M.A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e controle da Produção**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Tradução de Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Sistema de Produção Lean Manufacturing: Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo Sistemas de Produção Lean Manufacturing**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

ZAWISLAK, P; GERBER, C; MARODIN, G. **A Produção Enxuta Aplicada ao McDonald's. Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais (SIMPOI)**, 6 anais... FGV-EAESP, São Paulo, 2003.

LUZ, C, A, A; BUIAR, D, R. **Mapeamento do Fluxo de Valor – Uma ferramenta do Sistema de Produção Enxuta**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGETP), 24 Anais... 2004.

MOREIRA, M. P.; FERNANDES, F. C. F. **Avaliação do mapeamento do fluxo de valor como ferramenta da produção enxuta por meio de um estudo de caso**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGETP), 21 Anais... 2001.

CALLISTER JR., W.D.; RETHWISCH, D.G. **Fundamentos de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 9 a Ed., Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2014.

CASTELO BRANCO, C. H. & SOUZA SANTOS, A. B. de. **Efeitos de adições de cobre em ferro fundido nodular hipereutético**. *Metalurgia*, 1975.

DUARTE, Iberê Roberto. **Escola de fundição: Técnico de moldagem**. SCHULZ S.A. Divisão Automotiva, Santa Catarina, 2008.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**, 7ª edição, São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SILVA, E, L; MENEZES, E, M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2000, 118 p

TAPPING, D.; SHUKER, T. **Lean Office: Gerenciamento do Fluxo de Valor para Áreas Administrativas - 8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias Lean nas áreas administrativas**. São Paulo: Leopardo Editora, 2010.

Anuário Estatístico: Setor Metalúrgico / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 1995 – Brasília: SGM, 2020. 72 p

COSTA, O. GIÃO, D. **Tecnologia de fundição em areia verde**. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Portugal, 2001.

CARNIN, Raquel Luísa. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas**. 2008. 152f. Tese. (Doutor em Química) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.