

## APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR PARA MELHORIA DO FLUXO DE PRODUÇÃO EM UMA LINHA DE USINAGEM DE EIXOS

Estudante: Márcio Alberto Furlin - [mafurli1@ucs.br](mailto:mafurli1@ucs.br)  
Orientador: Michele Otobelli Bertéli - [mobertel@ucs.br](mailto:mobertel@ucs.br)  
Engenharia de Produção  
Universidade de Caxias do sul, Caxias do Sul

**Resumo:** Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo aplicar o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) na linha de usinagem de eixos de uma indústria de motores elétricos, identificando desperdícios e propondo melhorias baseadas nos princípios da Produção Enxuta. O estudo foi conduzido como um estudo de caso, com abordagem quantitativa, utilizando observação direta no chão de fábrica, entrevistas com operadores, análise de documentos técnicos e cronometragem das operações. O mapeamento do estado atual evidenciou gargalos, longos tempos de espera entre operações, distâncias excessivas no *layout* (168 m), elevado *lead time* (21,6 h) e baixa agregação de valor (0,40%), caracterizando um fluxo empurrado e pouco eficiente. A partir desse diagnóstico, foi projetado o mapa do estado futuro, que propõe reorganização do *layout* em células de manufatura, redução de tempos de ciclo e *setups*, eliminação de estoques intermediários, implementação de fluxo contínuo peça a peça e adoção de um sistema de produção puxado. Os resultados estimados indicam ganhos expressivos, incluindo redução de 99,1% no *lead time* (0,196 h), aumento do valor agregado para 28,87% e diminuição do percurso físico para 23,15 metros. O estudo confirma a eficácia do MFV como ferramenta estratégica para otimização de processos industriais, reforçando seu potencial na melhoria contínua e na elevação da eficiência operacional.

**Palavras-chave:** Mapeamento do fluxo de valor, Produção Enxuta, *Lean Manufacturing*, Usinagem.

**Abstract:** This Final Undergraduate Project aims to apply Value Stream Mapping (VSM) to the shaft machining line of an electric motor manufacturing company, identifying waste and proposing improvements based on Lean Manufacturing principles. The study was conducted as a case study with a quantitative approach, using direct observation on the shop floor, interviews with operators, analysis of technical documents, and time measurements of operations. The mapping of the current state revealed bottlenecks, long waiting times between operations, excessive distances in the layout (168 m), high lead time (21.6 h), and low value-added ratio (0.40%), characterizing a push flow with low efficiency. Based on this diagnosis, a future state map was developed, proposing the reorganization of the layout into manufacturing cells, reduction of cycle times and setups, elimination of intermediate inventories, implementation of continuous one-piece flow, and adoption of a pull production system. The estimated results indicate significant gains, including a 99.1% reduction in lead time (0.196 h), an increase in value-added time to 28.87%, and a reduction of the physical path to 23.15 meters. The study confirms the effectiveness of VSM as a strategic tool for optimizing industrial processes, reinforcing its potential to support continuous improvement and enhance operational efficiency.

**Keywords:** Value Stream Mapping, Lean Production, Lean Manufacturing, Machining.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente competitividade no setor industrial tem impulsionado as organizações a buscarem melhorias contínuas em seus processos produtivos, com o objetivo de reduzir desperdícios, aumentar a eficiência e entregar valor ao cliente com maior agilidade (Sehnm *et al.*, 2020; Moutinho; Souza; Lima, 2022; Ferreira; Corrêa; Ribeiro, 2023). Nesse contexto, a produção enxuta (*Lean Manufacturing*) emerge como uma filosofia essencial para alcançar tais objetivos, uma vez que propõe a eliminação sistemática de atividades que não agregam valor ao produto (Womack; Jones; Roos, 1996; Womack; Jones, 2005; Rother; Shook, 2003).

Um dos principais instrumentos empregados é o *Value Stream Mapping* (VSM) ou Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), uma ferramenta visual que permite entender, analisar e melhorar os fluxos de materiais e informações ao longo do processo produtivo (Rother; Shook, 2003). O MFV visa gerar valor e aprimorar o desempenho organizacional, aumentando a competitividade e eficiência das empresas (Moutinho; Souza; Lima, 2022), facilitar a identificação de desperdícios e a aplicação de práticas enxutas, contribuindo para a melhoria contínua dos processos (Sehnm *et al.*, 2020) e a diagnosticar ineficiências e propor intervenções práticas no arranjo físico das operações, otimizando o fluxo de materiais e informações (Santos; Loos, 2020).

Neste trabalho, propõe-se a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em um sistema produtivo de usinagem de eixos, com o objetivo de propor melhorias com base nos princípios da produção enxuta. A escolha do tema justifica-se pela relevância da usinagem no contexto da indústria metalmeccânica e pelo potencial de ganhos reais ao aplicar práticas *lean* nesse tipo de processo, especialmente no setor de usinagem de eixos, onde atualmente se observam atrasos na entrega de lotes, comprometendo o *lead time* de produção dos motores elétricos.

A metodologia adotada baseia-se em um estudo de caso aplicado em ambiente industrial, com coleta de dados realizada por meio de observação direta, entrevistas com operadores, análise de documentos técnicos e relatórios extraídos dos sistemas de gestão utilizados na organização.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Produção Enxuta

A produção enxuta, originada no Sistema Toyota de Produção, tem como principal premissa a eliminação sistemática dos desperdícios ao longo da cadeia produtiva, visando agregar valor ao cliente com o mínimo de recursos (Womack; Jones; Roos, 1996). Essa abordagem foi consolidada no ocidente a partir dos estudos de Womack e Jones (2005), que definiram cinco princípios fundamentais: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, sistema puxado e busca pela perfeição.

Segundo Liker (2005), o sistema enxuto é fundamentado na melhoria contínua (Kaizen), padronização e respeito pelas pessoas, buscando maximizar a eficiência operacional. Corrêa *et al.* (2020) afirmam que a produção enxuta contribui para o aumento da flexibilidade operacional e da qualidade, especialmente em ambientes de manufatura discreta. Marodin e Saurin (2021) complementam que a aplicação de ferramentas enxutas pode levar a redução de 20% a 40% dos custos operacionais, mesmo em contextos caracterizados por alta variabilidade.

Além disso, um ambiente de produção enxuta é caracterizado pela presença de processos padronizados, trabalho nivelado, fluxo contínuo, integração entre áreas e uma cultura organizacional orientada à melhoria contínua.

Segundo Oliveira *et al.* (2021), ambientes enxutos promovem disciplina operacional, redução de variabilidade e foco no cliente como centro das decisões. De acordo com Dias; Santana; Pereira, (2023), a padronização do trabalho e a estabilização dos processos são pilares fundamentais para a eficiência operacional e para a sustentabilidade da produção enxuta. Já Lima *et al.* (2023) enfatizam que empresas com cultura *lean* bem estabelecida apresentam menor tempo de *setup*, menores estoques e comunicação mais eficaz entre os setores.

### 2.2 Mapeamento do Fluxo de Valor

O MFV é reconhecido como uma ferramenta central da produção enxuta, permitindo representar graficamente todas as etapas do processo produtivo e

identificar desperdícios, gargalos e oportunidades de melhoria (Rother; Shook, 2003; Silva *et al.*, 2021; Moutinho; Souza; Lima, 2022). A construção do mapa do estado atual é considerada o ponto de partida, pois permite observar de forma objetiva como o fluxo realmente ocorre no chão de fábrica (Rother; Shook, 2003). De acordo com Silva *et al.* (2021), Moutinho *et al.* (2022) e Amaral e Araújo (2022), essa etapa é empregada para calcular o *lead time*, reconhecer e identificar os estoques intermediários, os tempos de espera e os fluxos de informações, possibilitando a identificação de ineficiências do processo produtivo analisado.

O objetivo principal do mapa do estado atual é obter dados provenientes da observação direta, entrevistas e registros operacionais (Santos; Loos, 2020; Santos *et al.*, 2021; Amaral; Araújo, 2022).

A aplicação do MFV, por meio da construção do estado atual, favorece o envolvimento de operadores e gestores na identificação de pontos críticos do processo. Esse engajamento contribui para a definição do estado futuro e reforça o comprometimento com as ações de melhoria. Além disso, a análise colaborativa dos dados mapeados aprimora a precisão do diagnóstico e reduz resistências à mudança (Dias; Santana; Pereira, 2023; Ferreira; Corrêa; Ribeiro, 2023; Moura *et al.*, 2023).

A coleta de dados como tempo de ciclo, *setup* e disponibilidade de máquina realizada durante a construção do mapa atual permite uma análise quantitativa do processo. Essa abordagem é eficaz para priorizar melhorias com base em indicadores operacionais (Jabbour *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2022).

### **2.2.1 Benefícios do mapeamento do fluxo de valor**

Entre os principais benefícios do MFV estão a identificação de desperdícios, o aumento da transparência dos processos, a padronização de práticas e a integração das equipes (Rother; Shook 2003).

O MFV atua como uma ponte entre o diagnóstico e a ação, promovendo decisões baseadas em dados reais do processo (Moutinho; Souza; Lima, 2022). Marodin e Saurin (2020) destacam a importância do MFV na construção de sistemas produtivos resilientes, permitindo maior adaptabilidade frente a variações da demanda.

Além disso, a ferramenta favorece a redução do *lead time*, a melhoria no índice de entrega no prazo e o uso mais eficiente dos recursos humanos (Ferreira; Corrêa; Ribeiro, 2023). O MFV também possibilita a eliminação das sete perdas clássicas definidas por Ohno (1997), como superprodução, estoques em excesso, tempo de espera, transporte desnecessário, excesso de processamento, movimentações e retrabalho, ao permitir uma análise clara e integrada do processo produtivo (Costa *et al.*, 2022; Amaral; Araújo, 2022; Jabbour *et al.*, 2020).

Por fim, Ferreira, Corrêa e Ribeiro (2023) mencionam o MFV como um facilitador da integração com a Indústria 4.0, ao permitir que os fluxos de valor sejam digitalizados e monitorados em tempo real. Para Jabbour *et al.* (2020), o MFV também é importante para a construção de cadeias de suprimentos mais sustentáveis, pois identifica atividades que geram impacto ambiental e propõe alternativas mais ecológicas.

### **2.2.2 Dificuldades de implantação do mapeamento do fluxo de valor**

Apesar de seus benefícios, a implementação do MFV enfrenta diversas barreiras. Uma das principais dificuldades é a resistência à mudança por parte das equipes operacionais e gestores, Sehnem *et al.* (2020). Essa barreira é frequentemente atribuída à ausência de uma cultura de melhoria contínua e à insegurança quanto à adoção de novas práticas (Cankaya *et al.*, 2021). Alhuraish *et al.* (2020) observam que a falta de familiaridade com ferramentas *lean* e a percepção de aumento na carga de trabalho contribuem para a rejeição inicial ao MFV.

De acordo com Santos *et al.* (2021), superar essa resistência requer ações contínuas de treinamento, comunicação transparente e o envolvimento ativo da alta gestão. Moura *et al.* (2023) complementam que o engajamento das equipes é um fator determinante para o sucesso do MFV, sendo necessário tempo e estratégias específicas para promover a aceitação.

A falta de treinamento adequado pode comprometer a eficácia do mapeamento (Rother; Shook, 2003). A coleta de dados em ambientes complexos e não padronizados torna-se um desafio Dias; Santana; Pereira, (2023).

Moutinho, Souza e Lima (2022) acrescentam que a aplicação eficaz do MFV depende do envolvimento interfuncional das equipes e da disposição para reavaliar práticas estabelecidas. Marodin e Saurin (2020) alertam que, em ambientes com baixa maturidade enxuta, o MFV pode se tornar apenas um exercício gráfico, sem gerar transformações reais se não houver acompanhamento sistemático.

Além disso, Ferreira, Corrêa e Ribeiro (2023) destacam que a digitalização do MFV, embora traga benefícios, demanda investimentos em tecnologias e qualificação, o que pode ser um impeditivo para pequenas e médias empresas. Por fim, Singh *et al.* (2020) observam que a sincronização entre os fluxos de materiais e informações, proposta pelo MFV, requer mudanças estruturais nos sistemas de planejamento e controle da produção, o que nem sempre é viável no curto prazo.

### **3 MÉTODO DE TRABALHO**

Este capítulo tem como objetivo apresentar a proposta metodológica do trabalho, detalhando o cenário da empresa em estudo e a caracterização do setor de usinagem onde foi aplicado o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV).

#### **3.1 Ambiente de intervenção**

O estudo foi conduzido em uma Indústria de Motores Elétricos, sendo caracterizada por ser uma empresa de médio porte com foco na produção de motores elétricos industriais e comerciais, com potências de até 1000 cv. A empresa se destaca pela atuação em projetos de mobilidade elétrica e pela inovação aplicada à fabricação e desenvolvimento de soluções sustentáveis. Possui uma planta fabril com 25.000 m<sup>2</sup> e uma força de trabalho de mais de 400 colaboradores. A empresa possui capacidade produtiva mensal de cerca de 30.000 motores, todos testados de acordo com os padrões de qualidade da área.

O setor de usinagem de eixos da Indústria de Motores combina tecnologias, como tornos CNC, com máquinas convencionais, incluindo fresadoras e retíficas. A linha de usinagem para produção de eixos utilizada para o estudo é destinada a motores pequenos e opera em turno único. Essa linha permite a usinagem de eixos

com diversas geometrias, comprimentos e diâmetros, respeitando tolerâncias dimensionais e padrões de acabamento exigidos pelos projetos e que fiquem dentro do dimensional máximo padrão dessa linha de usinagem para motores pequenos, pois além desta linha de usinagem de eixos existem outras, essas para outras famílias de motores, mas que não farão parte do trabalho sendo proposto.

A programação da produção é realizada por meio do sistema ERP/MRP INTEGRUM, que determina as necessidades de materiais com base no plano de produção e integra setores como finanças, RH, manufatura e suprimentos, otimizando estoques e reduzindo custos.

O planejamento da produção inicia-se com o recebimento da carteira de pedidos do setor comercial. O Planejamento e Controle da Produção (PCP) processa essa demanda no ERP, gera uma planilha Excel com o *mix* semanal e define a programação baseada em análises manuais e históricos de produção. A capacidade produtiva diária é estimada em cerca de 500 eixos. A programação define as ordens de produção específicas para o setor de usinagem, detalhando número da OF, código do item, quantidade a produzir, sequência de operações e tempos previstos para cada etapa.

O fluxo de produção não é contínuo, pois entre cada etapa há armazenagem intermediária. Os lotes são concluídos em uma operação antes de seguir para a próxima. Os apontamentos no sistema são realizados em dois ciclos: do corte até a furação de centro e da usinagem até a retífica. As ordens são registradas por meio de leitores eletrônicos e os dados são integrados ao sistema INTEGRUM, que alimenta o *Business Intelligence* (BI), permitindo o acompanhamento da produção.

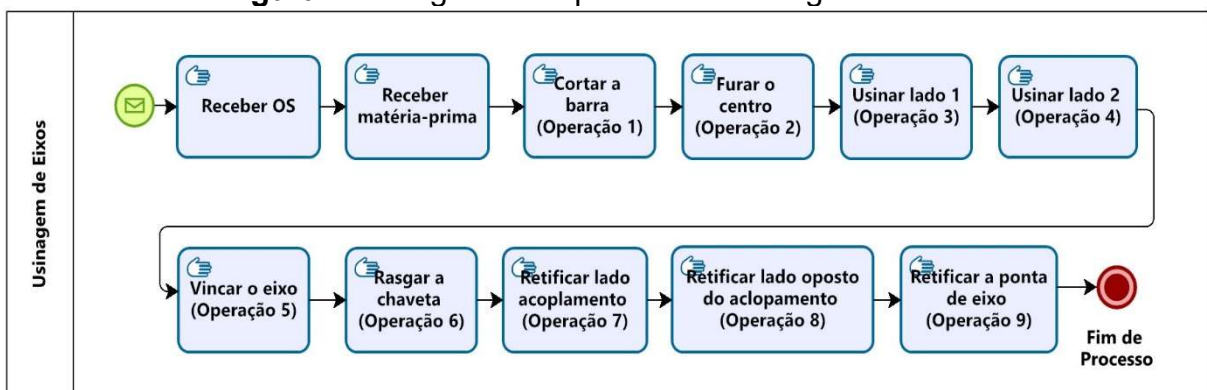
O controle de peças com defeito é realizado pelo operador. Quando há necessidade de reposição de itens refugados, o operador preenche manualmente a RS0014 (Solicitação de Reposição) informando o código do item, quantidade, tipo de defeito e encaminha ao PCP para reprogramação da produção. Paralelamente, a RS0193 (Controle de Peças Não Conformes) é preenchida para fins de controle de qualidade. Esta última é enviada ao setor de qualidade, que atualiza os indicadores de refugo e não conformidade no BI.

A matéria-prima é definida pelo MRP de acordo com as especificações da engenharia de produto. As ferramentas utilizadas no processo de usinagem são

controladas por códigos no almoxarifado. A qualidade do processo é assegurada por meio de inspeções dimensionais específicas para cada código de eixo, conforme as Instruções de Trabalho (ITs) padronizadas de cada estação, que detalham as operações para garantir eficiência, padronização e segurança. O processo de fabricação de eixos envolve nove operações principais nesta linha de usinagem de eixos para motores pequenos. Inicia-se com o corte da barra de 6 metros utilizando uma serra fita, seguido pela furação central realizada em uma furadeira de bancada, que consiste numa operação manual de alta precisão, garantindo o alinhamento para as etapas subsequentes. Em seguida, realiza-se a usinagem dos dois lados do eixo, em tornos CNC. A vincagem é feita em prensa excêntrica, permitindo a fixação do ventilador e sendo executada após a usinagem.

Na sequência, ocorre o rasgo da chaveta, realizado em uma fresadora convencional e por fim, as três últimas etapas, são de retífica convencional: primeiro o lado do acoplamento, depois o lado oposto e, por fim, a ponta do eixo, todas executadas manualmente com ajustes finos para assegurar a mancalização e o correto acoplamento de polias. Esse processo está ilustrado na Figura 1.

**Figura 1** – Diagrama de processos usinagem de eixos

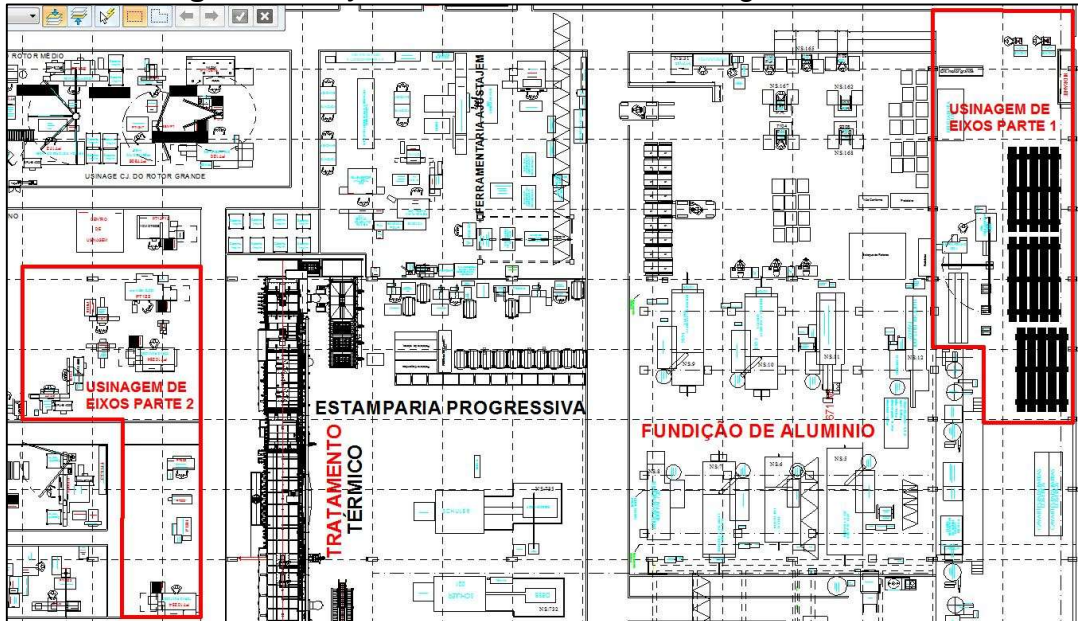


**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

O setor conta com 9 colaboradores em turno único, responsáveis pela usinagem de eixos com comprimentos variando de 265 mm a 386 mm e diâmetros entre 21,7 mm e 34,5 mm, distribuídos em aproximadamente 365 códigos distintos que são manufacturados conforme demanda. A Figura 2 apresenta o *layout* atual da linha de usinagem, com os eixos destacados em vermelho. Para melhor visualização, a Figura 3 mostra, de forma ampliada, a área de usinagem de eixos: a parte 1,

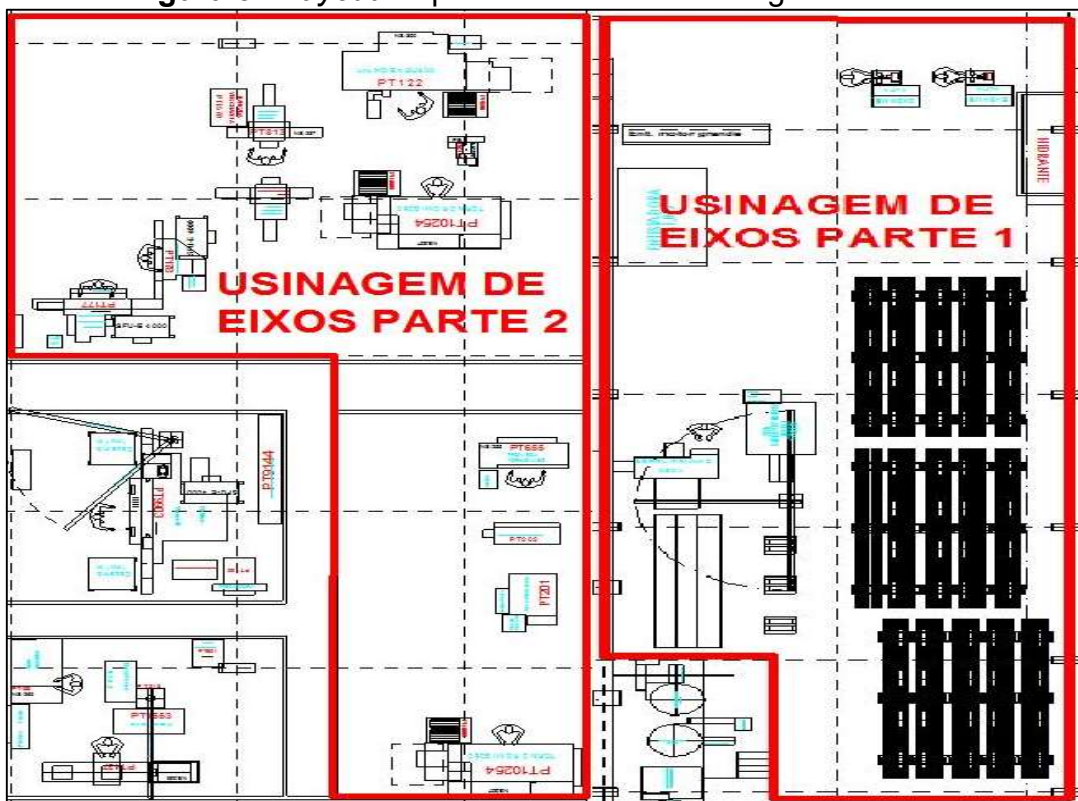
correspondente ao início do processo, em que ocorre o corte das barras; e a parte 2, que representa a etapa final da usinagem.

**Figura 2 - Layout atual da linha de usinagem de eixos**



Fonte: Compilado pelo autor (2025)

**Figura 3 - Layout ampliado da linha de usinagem de eixos**



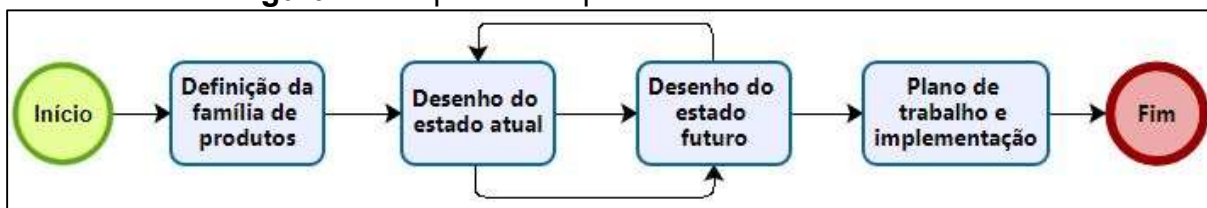
Fonte: Compilado pelo autor (2025).

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v.??, n.??, p. ??-??, ??/??., 201?

### 3.2 Método de trabalho

Esse trabalho é de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e objetivo descritivo realizado por meio de estudo de caso. O procedimento técnico adotado é de pesquisa-ação. Ainda, é empregado o modelo de etapas para aplicação do MFV, conforme ilustra a Figura 4.

**Figura 4 - Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor**



Fonte: Adaptado de Moutinho *et al.* (2022).

Na primeira etapa é definida a família de produtos, selecionada considerando os códigos de eixos usinados com maior frequência de fabricação, definidos segundo a regra de Pareto (80-20), ou seja, os códigos que representam 80% da produção semanal. Para essa definição, foi extraído um relatório do BI da organização considerando todos os códigos produzidos do início de janeiro a final de junho de 2025.

Em seguida, o desenho do mapa do estado atual foi construído fazendo uso do *software* Lucidchart. Os dados foram coletados por meio de cronometragem na linha de produção.

Para levantar os tempos de ciclo reais, foi aplicada uma cronometragem direta por meio de observação em cada etapa do processo de usinagem, utilizando cronômetro digital.

Foram avaliadas cinco peças por operação, considerando o turno diurno (único) de trabalho e operadores. Os tempos foram registrados em fichas contendo dados da máquina, operador e observações, abrangendo o ciclo completo, carregamento, descarregamento e tempo automático, quando houver.

Após o cálculo da média aritmética, os resultados foram validados com a equipe do setor e utilizados na elaboração do mapa do estado atual, com possibilidade de futura integração ao sistema ERP/MRP (INTEGRUM) e ao BI da empresa. Na fase

seguinte foram conduzidas análise de documentos e conversas com os operadores para identificar oportunidades de melhoria, por meio das ineficiências atuais, considerando as sete perdas da produção enxuta e as oportunidades de melhoria identificadas.

Além do tempo de ciclo, também são coletados os índices de retrabalho dos códigos selecionados para a família de eixos a ser mapeada para o estudo. Os dados são extraídos considerando a média dos últimos meses que consta registrado no documento de qualidade (RS0193).

O desenho do estado futuro foi realizado considerando as melhorias identificadas. O *software* Lucidchart foi empregado para a representação visual do mapa do estado futuro.

Para o estado futuro planeja-se prever ajustes no *layout* para otimizar o fluxo produtivo e reduzir perdas de valor, buscando aprimorar a movimentação de materiais e a eficiência das operações.

Por fim, a última etapa, compreende elaborar o plano de trabalho para implementação das melhorias identificadas. Ressalta-se que para essa fase é necessária aprovação da gestão da organização.

## **4. Resultados**

### **4.1 Definição da família de produtos**

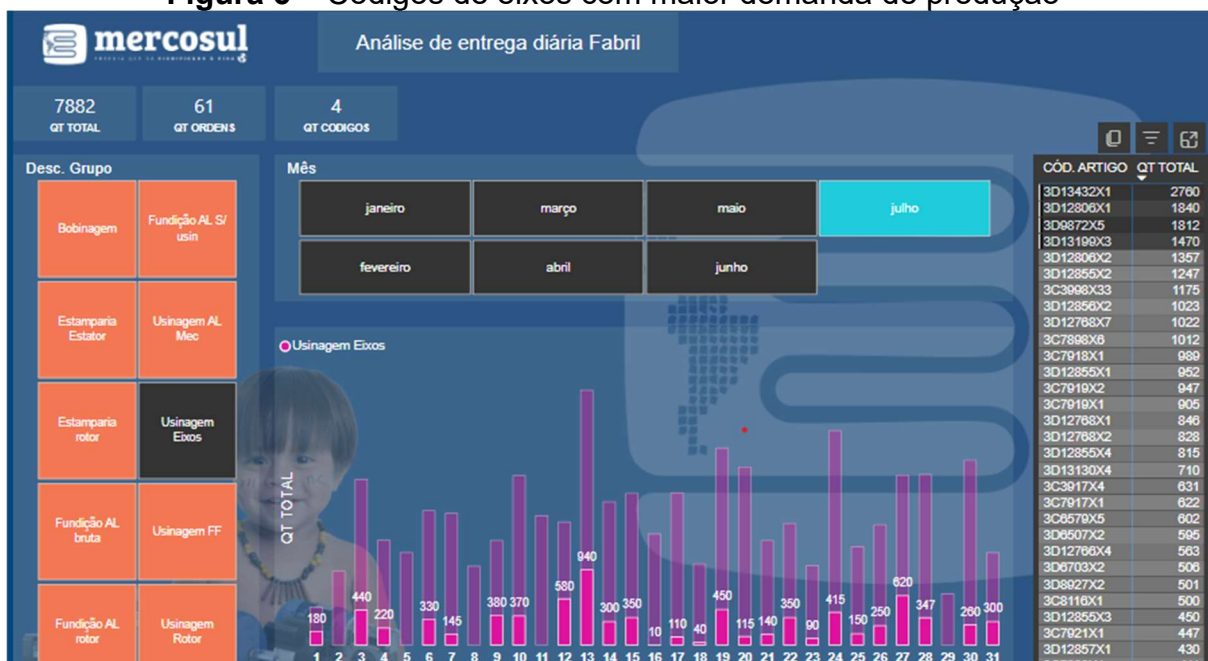
A definição da família de produtos constitui a primeira etapa para a construção do Mapeamento do Fluxo de Valor, uma vez que possibilita delimitar o escopo de análise e direcionar os esforços para os itens que possuem maior impacto no desempenho produtivo.

Para essa etapa, foi aplicada a regra de Pareto (80-20), segundo a qual uma pequena parcela dos produtos responde pela maior parte da demanda dos eixos usinados na linha de usinagem do estudo.

A média do número de eixos usinados foi obtida por meio da análise do histórico de demanda de fabricação, conforme a Figura 5, a partir das informações coletadas no sistema de *Business Intelligence* (BI) da empresa, referente aos seis primeiros meses de 2025 (janeiro a junho).

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v.??, n.??, p. ??-??, ??/??., 201?

**Figura 5 – Códigos de eixos com maior demanda de produção**



Fonte: BI Industria Motores (2025).

Os resultados demonstram que quatro códigos de eixos, que representam 7.882 unidades, concentram aproximadamente 80% da produção do setor de usinagem de eixos do motor pequeno. A Tabela 1 apresenta os dados consolidados.

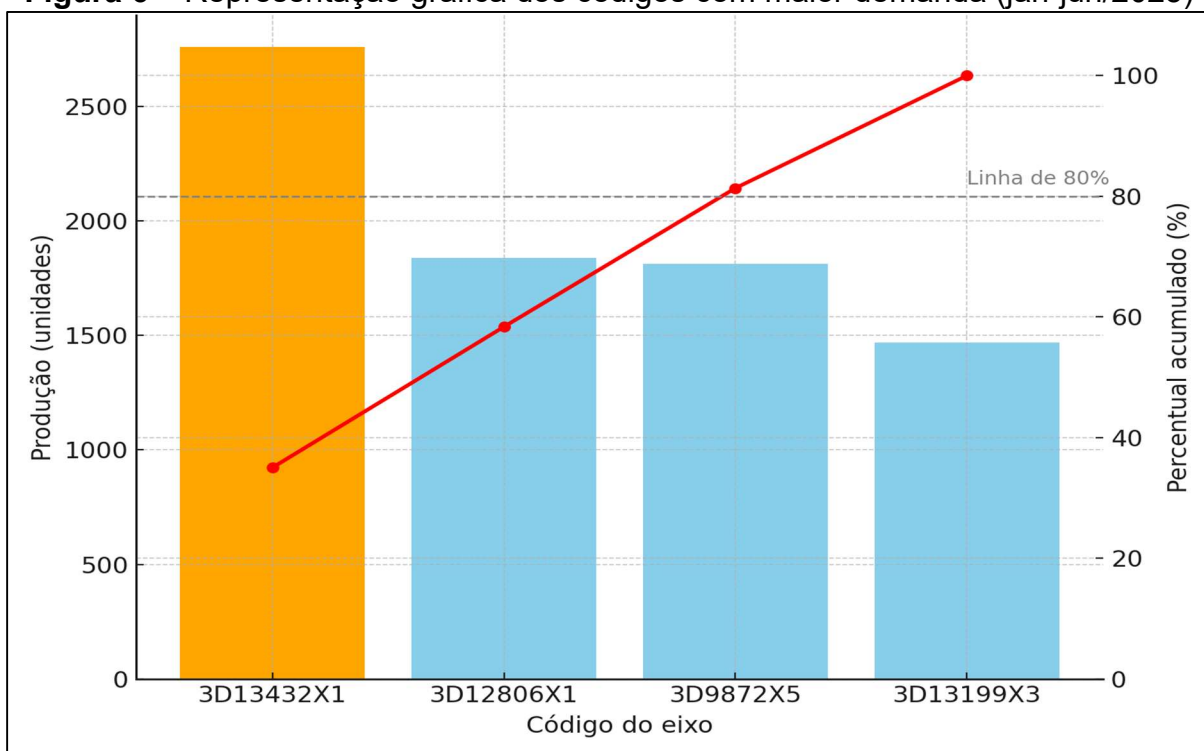
**Tabela 1 – Apresentação dos dados consolidados**

Código do eixo	Quantidade produzida (unidades)	Representatividade (%)
3D13432X1	2.760	32,90%
3D12806X1	1.840	21,90%
3D9872X5	1.812	21,60%
3D13199X3	1.470	17,60%
<b>Total</b>	<b>7.882</b>	<b>94,00%</b>

Fonte: Compilado pelo autor (2025).

Por meio da análise de Pareto, observa-se que o eixo 3D13432X1 se destaca em relação aos demais, representando aproximadamente um terço do total produzido, confirmando sua relevância estratégica para o setor de usinagem. Em conjunto, os quatro códigos analisados totalizam cerca de 94% da produção do período, o que evidencia a concentração da demanda em poucos itens e reforça a aplicação do princípio de Pareto (80-20), conforme Figura 6.

**Figura 6** – Representação gráfica dos códigos com maior demanda (jan-jun/2025)



Fonte: Compilado pelo autor (2025).

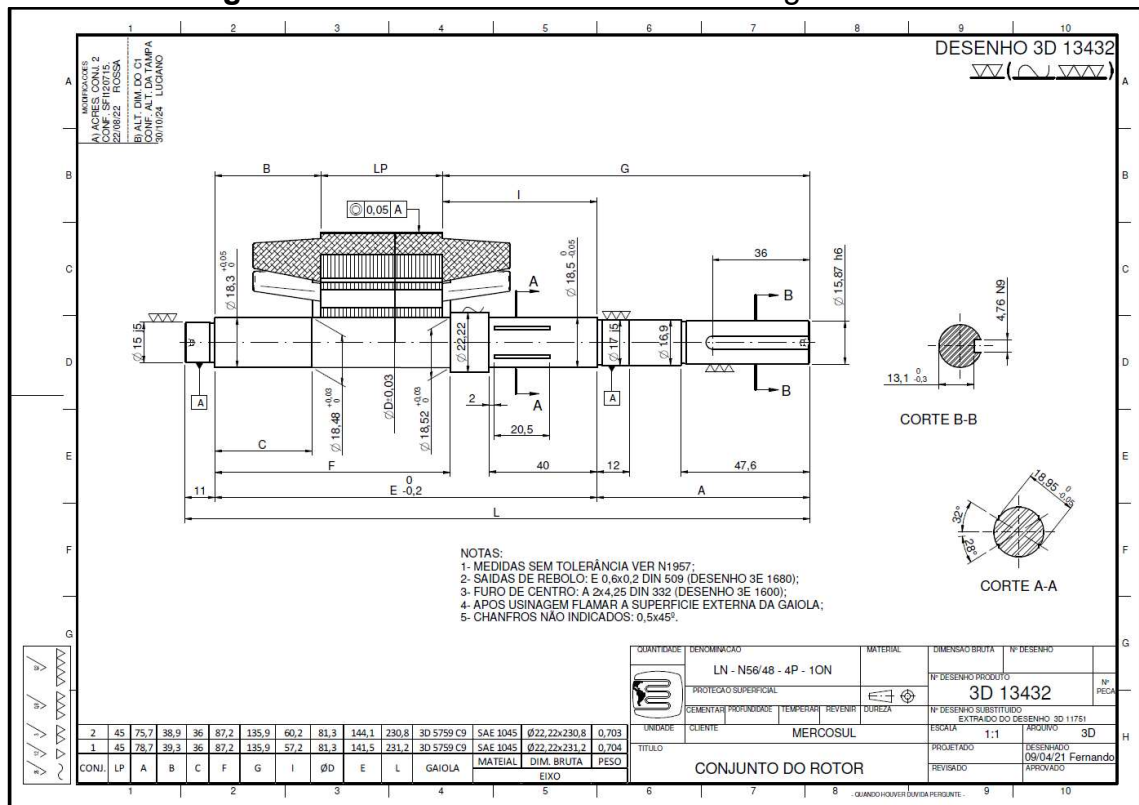
Esse resultado justifica a escolha do código 3D13432X1 como objeto de estudo para o Mapeamento do Fluxo de Valor, uma vez que o aprimoramento de seu desempenho impacta diretamente a eficiência global do processo produtivo.

Além disso, por se tratar de um produto que compartilha o mesmo roteiro de fabricação e sequência de operações dos demais eixos, as melhorias identificadas a partir da análise desse código tendem a beneficiar todo o conjunto de produtos, ampliando o alcance e a efetividade das ações de melhoria.

O eixo 3D13432X1 caracteriza-se por ser um componente usinado em aço SAE 1045, com comprimento de 231 mm, diâmetro principal de 22,22 mm e peso próximo de 0,7 kg.

Suas particularidades incluem a necessidade de precisão dimensional, furos normalizados, saídas de rebolo e chanfros padronizados, garantindo compatibilidade com o conjunto do rotor no qual será montado, conforme o desenho de produto ilustrado na Figura 7.

**Figura 7 – Desenho do eixo usinado código 3D13432**



Fonte: Compilado pelo autor (2025).

## 4.2 Desenho do estado atual

Esta seção detalha o mapeamento do fluxo de valor do estado atual para o processo de usinagem de eixos de motores pequenos. A coleta de dados para a construção deste mapa foi realizada por meio de cronometragem direta no chão de fábrica, incluindo tempos de ciclo, movimentações, estoques intermediários e sequência das operações. Com base no conceito sobre o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) de Rother e Shook (2012), o trabalho considerou na tomada de tempo os principais desperdícios encontrados como esperas, estoques e transportes. Dessa forma, o mapa não apenas registrou a situação existente, mas evidenciou rupturas de fluxo e fatores que dificultam uma operação mais enxuta.

### 4.2.1 Coleta de dados

A coleta de dados que subsidiou o desenho do estado atual, foi realizada entre 10 e 20 de setembro de 2025, conduzida pelo autor deste trabalho. O estudo teve Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v.??, n.??, p. ??-??, ??/??, 201?

como foco o eixo 3D13432X1, fabricado em lotes de 250 peças por dia. O fluxo de produção foi analisado em suas nove etapas: Cortar Barra, Furar Centro, Usinar Lado 1, Usinar Lado 2, Vincar Eixo, Rasgo da chaveta, Retífica acoplamento, Retífica lado oposto e Retífica ponta de eixo.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos por meio da coleta de dados realizada diretamente na linha de produção de usinagem dos eixos de motores pequenos, que representa a família do produto selecionado do estudo. Essas medições permitiram construir uma visão abrangente do desempenho produtivo real e subsidiaram a análise quantitativa das perdas no fluxo de valor atual.

**Tabela 2 – Quadro detalhado do estado atual**

Etapa do Processo	Tempo de Ciclo Médio (s/peça)	Percentual de utilização	Tempo de Setup Médio (s/lote)	Tempo de Espera (h/lote 250 peças)	Operadores	WIP (peças)
Cortar Barra	30,50	48,14%	900	2,11	1	250
Furar Centro	20,08	31,69%	120	1,39	1	250
Tornear Lado 1	56,67	89,44%	1800	3,93	1	250
Tornear Lado 2	58,51	92,35%	900	4,06	1	250
Vincar Eixo	4,22	6,66%	100	0,29	1	250
Rasgo da Chaveta	45,00	71,02%	900	3,12	1	250
Retífica Lado Acoplamento	25,52	40,28%	600	1,77	1	250
Retífica Lado Oposto	32,42	51,17%	600	2,25	1	250
Retífica Ponta de Eixo	37,58	59,31%	600	2,60	1	250
Final	Total = 310,5s	Média= 54,45%	Total = 6.520s	Total = 21,52h	9	250

Fonte: Compilado pelo autor (2025).

O Tempo de Ciclo Médio (s/peça) foi realizado considerando o tempo que o operador realiza a operação (do início ao fim) antes de começar a repetir a ação. Os dados apresentados foram obtidos a partir de medições diretas com cronometragem manual. Após as medições, foi calculada a média aritmética dos 5 tempos coletados para compor os dados de tempos médios de ciclo apresentados.

Já o Percentual de Utilização (%) para cada máquina dos processos, que indica o quanto do tempo disponível é efetivamente usado para agregar valor, foi calculado pela relação  $((\text{Tempo de ciclo} \times \text{quantidade produzida (250)}) / \text{Tempo Total Disponível}) \times 100$ . Para o tempo total disponível foi considerado 50% (4,4 horas) do tempo diário disponível, visto que o lote é de 250 peças e a capacidade produtiva da linha

atualmente é de 500 eixos. Valores reduzidos de utilização evidenciam perdas operacionais, como pequenas paradas, movimentações, inspeções e ajustes. Assim, o processamento passa a considerar o tempo de ciclo (TC) ponderado pela utilização efetiva (%) da máquina, conforme recomendado por Rother e Shook (2012). Esse ajuste está em conformidade com os dados apresentados no artigo, uma vez que o percentual de utilização representa de forma mais realista a disponibilidade operacional do recurso durante o turno

Os tempos de *setup* foram cronometrados individualmente para cada lote e expressos em segundos, representando o tempo médio de preparação entre as trocas de ferramentas, regulagens e ajustes. O Tempo de Espera (h/lote 250 peças), representa o período em que o lote permaneceu parado aguardando processamento entre as etapas do processo, conforme literatura foi calculado pela relação (lote em espera) x tempo de ciclo médio do processo anterior ao acúmulo do lote, obtendo um valor em segundos e convertendo posteriormente para horas. Também se destaca que, embora a linha não permaneça parada aguardando o lote de 250 peças pois o equipamento segue produzindo o lote anterior, essa dinâmica não foi incorporada nos cálculos deste estudo. Para efeito da análise, considerou-se exclusivamente o lote do eixo 3D13432, sem contabilizar o lote anterior que estava em processamento durante as esperas intermediárias. Essa decisão metodológica evita interferências externas ao objeto de estudo e mantém o foco nos resultados específicos do lote analisado.

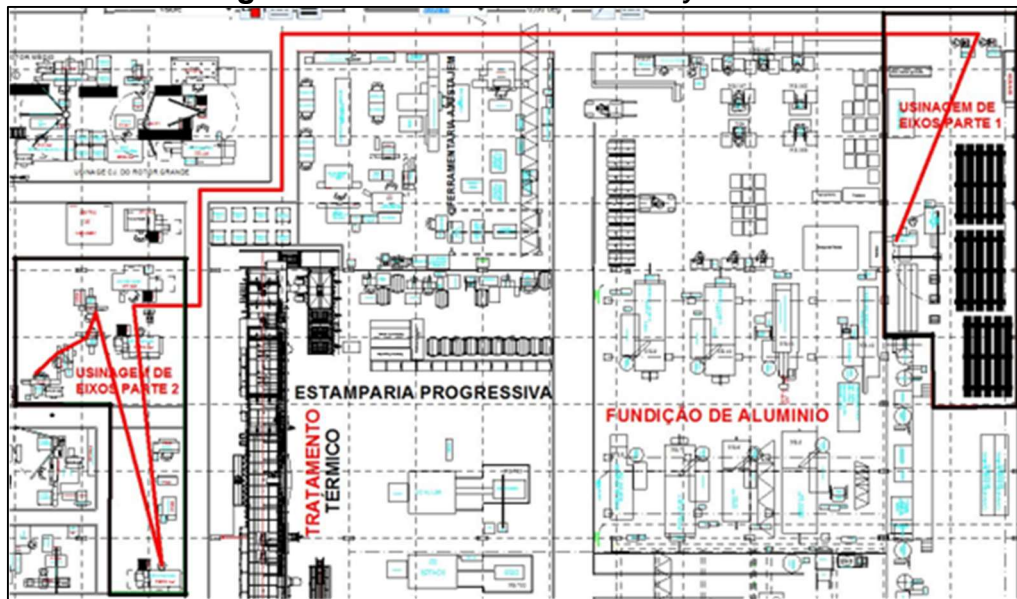
Para os operadores a informação foi obtida por observação e registro de controle do setor, representando respectivamente o número de colaboradores responsáveis por cada operação e o *WIP* representa o número de peças em processamento intermediário, sendo essas 250 unidades por lote produzido.

#### **4.2.2 Distanciamentos no *layout***

A análise do *layout* atual da linha de usinagem revelou variações nas distâncias percorridas entre os processos, medidas em linha reta entre os pontos de entrega e recebimento de cada etapa. O trajeto total do fluxo, ilustrado pela linha vermelha na Figura 8, soma aproximadamente 168 metros e inclui áreas internas do setor de usinagem e trechos que atravessam setores adjacentes. As maiores distâncias

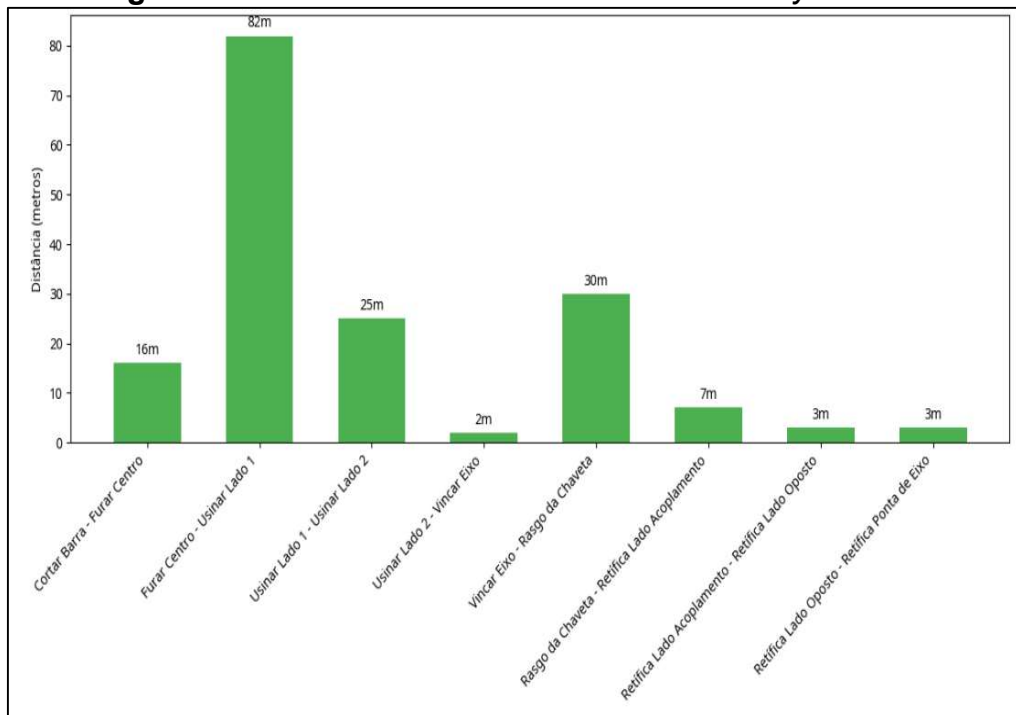
destacadas também na Figura 9, ocorrem entre Furar centro e Usinar Lado 1 (82 m), Usinar Lado 1 e Usinar Lado 2 (25 m) e Vincar eixo e Rasgo da chaveta (30 m), configurando pontos críticos de movimentação excessiva e interrupções no fluxo, que contribuem para perdas logísticas e redução da eficiência operacional.

**Figura 8** – Distanciamentos no *layout* atual



Fonte: Compilado pelo autor (2025).

**Figura 9** – Gráfico com os distanciamentos no *layout* atual



Fonte: Compilado pelo autor (2025).

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v.??, n.??, p. ??-??, ??/??., 201?

### 4.2.3 Mapa do fluxo de valor atual

O MFV, apresentado no Apêndice A, foi construído no software Lucidchart e elaborado a partir dos dados coletados na linha de usinagem do eixo 3D13432X1, fabricado em lotes de 250 peças semanais. O mapa representa o fluxo completo do processo, desde o corte até a etapa final de retífica, destacando os tempos de ciclo, *setups*, percentual de utilização e estoques intermediários, bem como os principais indicadores de desempenho *Lead Time*, Tempo de Processamento e Percentual de Agregação de Valor (TAV).

### 4.2.4 Análise do estado atual

A análise do estado atual evidenciou perdas que comprometem a eficiência do processo de usinagem, sobretudo os tempos de espera excessivos, que totalizam 21,51 horas sem agregação de valor, ampliando o *lead time* e reduzindo a capacidade de resposta da produção. Somado a isso, o acúmulo de estoque em processo (WIP), decorrente do processamento em lotes inteiros, nesse caso atual de 250 peças, aumenta o tempo total de produção e dificulta o controle do fluxo, fazendo com que lotes permaneçam ociosos entre etapas resultando maior tempo de processamento.

O *layout* atual do setor de usinagem com um percurso de 168 metros também apresenta deficiências, com grandes distâncias entre os processos, como os 82 metros entre Furação centro e Usinar Lado 1 e os 30 metros entre Vincar Eixo e Rasgo da Chaveta. Esses deslocamentos geram perdas por transporte e movimentação, aumentam o tempo de deslocamento dos lotes e exigem maior esforço logístico, além de dificultar o balanceamento entre as etapas produtivas.

As operações de usinagem nos tornos CNC, responsáveis pelas etapas de Usinar Lado 1 e Usinar Lado 2, concentram cerca de 37% do tempo total de ciclo, configurando potenciais gargalos produtivos e essa concentração de carga limita o fluxo e evidencia a necessidade de balanceamento. Já para o nivelamento das operações na etapa 2 (Furar Centro) e Etapa 5 (Vincar Eixo) com Percentual de Utilização de máquina respectivamente 31,69% e 6,66%, se observam a necessidade do ajuste de balanceamento operacional devido a ociosidade dos operadores.

Em síntese, o Mapa do Fluxo de Valor atual apresenta um processo desbalanceado e predominantemente empurrado, com elevado *lead time* total de 21,51 horas. A baixa proporção de atividades que agregam valor, cerca de 0,40% e as movimentações excessivas reforçam a urgência de ações de melhoria no *layout*, balanceamento da linha (otimização de tempos e operacional) e reprogramação da produção, buscando reduzir o *lead time*, eliminar desperdícios e aumentar o valor agregado.

### **4.3 Desenho do estado futuro**

Esta seção detalha o desenho do estado futuro para o processo de usinagem de eixos, com o objetivo de otimizar o fluxo de valor, propondo o levantamento de oportunidades e as propostas de melhoria baseadas na análise crítica do estado do mapa atual. A análise deste estado futuro foi conduzida com o apoio de uma equipe de colaboradores internos da empresa, contando com a participação dos operadores de produção em cada etapa do processo, do gestor da área de usinagem, do analista de processos, dos analistas de PCP, do analista de compras e do analista do setor comercial.

#### **4.3.1 Mapa do fluxo de valor futuro**

O mapa do fluxo de valor futuro, apresentado no Apêndice B e construído no *software Lucidchart*, representa uma proposta para melhorar o processo de usinagem do eixo 3D13432X1, com base nas análises das perdas. Embora ainda não tenha sido implementado, o modelo considera dados estipulados de tempo médio de ciclo e sugere adotar um fluxo contínuo e puxado, para eliminar estoques intermediários e reduzir os tempos de espera. O mapa destaca visualmente o novo fluxo de materiais e informações, os pontos de controle, os operadores envolvidos e os principais indicadores de desempenho, como *Lead Time* e Tempo de Ciclo, que serve como referência para futuras ações de melhoria e alinhamento com os princípios da produção enxuta.

### 4.3.2 Levantamento de oportunidades

O levantamento de oportunidades evidencia a necessidade de reestruturar o fluxo produtivo, com ações de ajustar o *layout*, revisar os tamanhos de lote com o objetivo de agrupar demandas e programar lotes maiores de eixos com mesmo código, de modo a justificar e viabilizar o sistema de produção puxada, bem como implementar processos de usinagem mais eficientes, aplicar ferramentas da Produção Enxuta e melhorar a programação e gestão das operações.

### 4.3.3 Proposta de melhorias

As propostas de melhoria do estado futuro, concentram-se em reorganizar o *layout* em formato celular, reduzir tempos de espera e *setup*, balancear tempos e operações das etapas produtivas e implementar um sistema de produção puxado e contínuo. Essas medidas visam promover maior fluidez operacional, reduzir o *lead time* total e elevar o percentual de atividades que agregam valor ao produto.

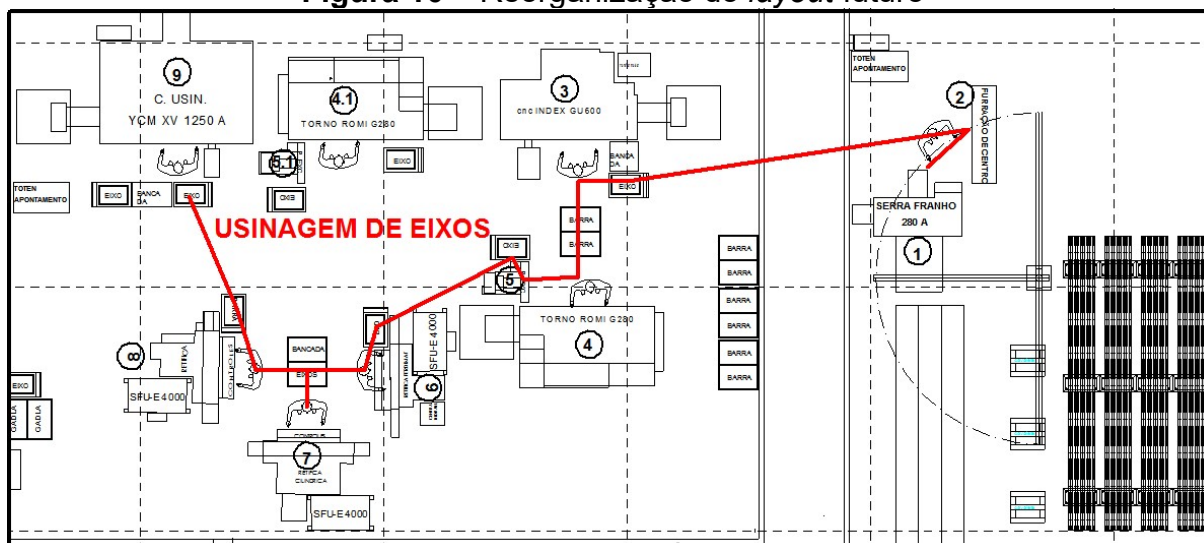
#### 4.3.3.1 Reorganizar *layout* para fluxo Contínuo e Células de Manufatura

A proposta consiste em reorganizar o *layout* físico por meio da implementação de células de manufatura, aproximando as máquinas com operações sequenciais para criar um fluxo linear e contínuo.

Essa abordagem agrupa equipamentos por famílias de produtos, para organizar processos em sequência, reduzir tempos de espera e transporte, otimizar espaço e garantir flexibilidade para mudanças na demanda.

Para um melhor entendimento, a Figura 10 apresenta a proposta para reorganizar o *layout* com o respectivo trajeto percorrido pelo lote de eixos dentro do processo produtivo, representado pela linha vermelha e na sequência de operação de 1 a 9. Pelo estudo, o novo *layout* terá um percurso totalizando aproximadamente 23,15 metros.

**Figura 10 – Reorganização do layout futuro**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para reorganizar o layout segue as ações necessárias:

- a) etapas 1 (Cortar Barra) e 2 (Furar Centro): reposicionar serra de corte e instalar o novo centro de furação de centro junto a serra, próximo e a direita dos tornos de Usinar Lado 1 e Lado 2, bem como reposicionar a talha de içamento e cavaletes de armazenamento das barras de aço utilizados no processo;
- b) etapas 3 (Usinar Lado 1), 4 (Usinar Lado 2) e 5 (Vincar Eixo): reposicionar o torno CNC responsável por Usinar Lado 2, aproximando-o do torno CNC que executa o processo de Usinar Lado 1 (o qual permanecerá em seu local atual) de modo a garantir o espaçamento adequado para um fluxo contínuo. Além disso, realocar a prensa de Vincar Eixo junto ao torno CNC Usinar Lado 2, possibilitando a otimização da operação por meio da atuação de um único operador nas duas atividades;
- c) etapas 6 (Retífica Acoplamento), 7 (Retífica Lado Oposto) e 8 (Retífica Ponta Eixo): reposicionar as três retíficas convencionais para a esquerda do torno CNC responsável por usinar do Lado 2, organizando-as em formato de “U”. Esse novo arranjo permite a instalação de uma bancada central, facilitando e reduzindo o percurso de transferência dos eixos em processamento ao longo da sequência operacional;

- d) etapas 9 (Rasgo da Chaveta): instalar centro de usinagem para fresar rasgo da chaveta, logo acima da retífica (etapa 8) na sequência de processamento;
- e) totens para apontamento de ordem de produção: reposicionar dois totens para apontamento de ordens de produção, sendo um para dar entrada da ordem, próximo as etapas 1 e 2 e outro para dar fechamento da ordem, próximo a etapa 9;
- f) Movimentação dos eixos: A movimentação do fluxo contínuo de eixos entre as máquinas das etapas dos processos, conforme demonstra na Figura 10 fixado no percurso da linha vermelha, ocorrerá por carrinhos com rodízios onde tiver uma distância maior e por bancada onde o distanciamento for mais próximo.

#### **4.3.3.2 Otimização das operações com balanceamento e redução de *setups***

Para implementar melhorias específicas nas etapas do processo, buscando reduzir os tempos de ciclo e a quantidade de *setups*, bem como balanceamento das operações, foram planejadas as seguintes ações:

- a) etapas 1 (Cortar Barra) e 2 (Furar Centro): um único operador será responsável pela execução de ambas as etapas. Para a etapa de furação, será desenvolvido um novo equipamento (centro de furação) capaz de realizar simultaneamente a furação de centro nos dois lados da peça e reduzindo o tempo de ciclo desta operação, substituindo a furadeira de bancada utilizada no processo atual. Esse novo sistema apresenta tempo de ciclo inferior, elimina esperas e dispensa a formação de estoque intermediário. Além disso, o corte simultâneo de sete barras na etapa 1(Cortar Barra) permitirá que o operador realize a furação das barras já cortadas enquanto a serra executa o corte do próximo conjunto, otimizando o fluxo de trabalho e reduzindo inclusive o tempo de ciclo da serra de cortar barra;
- b) etapas 3 (Usinar Lado 1) e 4 (Usinar Lado 2): no processo de Usinar Lado 1 (torno CNC), será incorporado um arrastador frontal mais robusto,

permitindo maior taxa de remoção de material da barra de aço e possibilitando ajustes na programação de usinagem, resultando na redução do tempo de ciclo dessa operação. Para a etapa de Usinar Lado 2 (torno CNC), foi projetado um sistema de fixação por pinça, garantindo maior rigidez, concentricidade e rapidez no carregamento da peça. Esse novo sistema também permitirá elevar a taxa de remoção de material e reduzir o sobremetal destinado à retífica de 0,5 mm para 0,2 mm, além de permitir ajustes adicionais na programação de usinagem, contribuindo para a diminuição do tempo de ciclo dessa etapa;

- c) etapa 5 (Vincar Eixo): a prensa será reposicionada ao lado do torno CNC da etapa 4 (Usinar Lado 2), permitindo que o operador dessa etapa realize o vinco do eixo previamente usinado enquanto o torno processa o eixo seguinte, utilizando um único operador para os dois processos. Essa configuração otimiza o tempo de trabalho e elimina o período de espera entre as etapas 4 e 5;
- d) alteração do Fluxo para Retífica e melhoria no tempo de ciclo: o processo de fresamento da chaveta será realocado para a etapa 9 (Rasgo da Chaveta), após as retíficas. As etapas 6 (Retífica Acoplamento), 7 (Retífica Lado Oposto) e 8 (Retífica Ponta de Eixo) serão realizadas antes e com uma redução no tempo de ciclo, visto que as peças são entregues com menos sobremetal do eixo usinado nas etapas do torno CNC (0,2 mm). Essa mudança visa eliminar variações de medida, ovalização, empenamento e excentricidade causada pelo fresamento antes da retífica, melhorando a qualidade. Os eixos são acomodados em caixas plásticas com posicionadores que isolam uma peça da outra, afim de garantir que não possa haver contato nas áreas de retífica;
- e) etapa 9 (Rasgo da Chaveta): A operação será realizada em um centro de usinagem já existente na fábrica ao invés de uma fresadora convencional, com um ferramental que prende dois eixos por operação. Isso reduzirá o tempo de operação, o *lead time*, o custo com insumos (fresas), melhorará a qualidade (precisão, acabamento superficial, aspecto visual) e a segurança.

### 4.3.3 Implementação de um sistema puxado

Implantar um sistema puxado no estado futuro, viabilizado pelo novo *layout* com operações próximas, permitindo trabalhar peça a peça ou em pequenos lotes em fluxo contínuo. Inicialmente, o transporte entre etapas será feito com carrinhos e bancadas, e posteriormente haverá a implantação de uma esteira automatizada ao longo dos 23,15 metros do fluxo. O PCP realizará apenas dois apontamentos por ordem de produção, início no corte da barra e encerramento no rasgo da chaveta, eliminando registros intermediários do modelo atual.

### 4.3.4 Detalhamento do estado futuro

A Tabela 3 apresenta os dados numéricos de cada etapa do processo projetado para o mapa futuro, disponibilizando os tempos médios de ciclo, tempo de utilização, tempos de *setup*, tempos de espera, quantidade de operadores e volume de peças em processo / *Work in Process* (WIP).

**Tabela 3 – Quadro de dados detalhado do estado futuro**

Etapa do Processo	Tempo de Ciclo Médio (s/peça)	Tempo de utilização	Tempo de Setup Médio (s/lote)	Tempo de Espera (h/lote 250 peças)	Operadores	WIP (peças)
Cortar Barra	24,57	38,78%	900	0,00	1	250
Furar Centro	14,50	22,89%	120	0,056	0	250
Tornear Lado 1	30,40	47,98%	1800	0,00	1	250
Tornear Lado 2	35,80	56,50%	900	0,00	1	250
Vincar Eixo	4,22	6,66%	100	0,0082	0	250
Retífica Lado Acoplamento	17,35	27,38%	600	0,00	1	250
Retífica Lado Oposto	22,04	34,79%	600	0,00	1	250
Retífica Ponta de Eixo	25,55	40,33%	600	0,049	1	250
Rasgo da Chaveta	29,30	46,24%	900	0,00	1	250
Final	203,73s	Média = 35,73%	5620s	0,1132h	7	250

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para os tempos apresentados no quadro detalhado do estado futuro, os valores foram definidos com base em experimentos prévios realizados em cada etapa do  
Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v.??, n.??, p. ??-??, ??/??, 201?

processo e esses valores servem como referência para as análises numéricas e de indicadores dos ganhos esperados conforme os ajustes de melhorias propostos, detalhado a seguir:

- a) Tempo de Ciclo Médio (s/peça): foram estipulados os tempos de ciclo médio em segundos para cada operação, representando o tempo desejado a ser atingido após a implementação das melhorias propostas anteriormente;
- b) Percentual de Utilização (%): para o mapa futuro, foi definido o mesmo sistema de cálculo utilizado na avaliação do mapa atual, pois a quantidade do lote foi a mesma de 250 peças;
- c) Tempo de *Setup* Médio (s/lote): os tempos de *setup* mantiveram a referência utilizada no mapa do estado atual. Contudo, espera-se que o tempo total acumulado de *setup* seja reduzido com a adoção do fluxo contínuo e da produção puxada, uma vez que o PCP passará a agrupar quantidades maiores de peças de um mesmo código, permitindo a programação de lotes maiores. Dessa forma, mesmo mantendo o fluxo contínuo, haverá menor número de trocas dentro de um mesmo dia, o que reduz o volume de *setups*;
- d) Tempo de Espera (h/lote 250 peças): no estado futuro, não se prevê acúmulo relevante de tempo de espera entre as operações, pois o processo passa a operar em fluxo contínuo, sem estoques intermediários. Apesar das pequenas diferenças entre os tempos de ciclo, o balanceamento produtivo, orientado pela operação mais lenta, impede formações de filas e elimina as longas esperas típicas do modelo empurrado. Considera-se apenas um acúmulo mínimo para avanço dos lotes entre as etapas 2 e 3 (14 peças), 5 e 6 (7 peças) e 8 e 9 (7 peças);
- e) Operadores: no estado futuro, o número de operadores será reduzido de 9 para 7, pois algumas operações foram agrupadas conforme já mencionado anteriormente;
- f) *WIP* (250 peças): O lote de processamento permanece com 250 peças, assim como no estado atual. No entanto, diferentemente do modelo atual, o lote deixa de ser acumulado entre etapas e passa a fluir de forma contínua durante todo o processo produtivo.

### 4.3.5 Síntese numérica dos ganhos esperados

A Tabela 4 apresenta a comparação entre os principais indicadores de desempenho do processo de usinagem do eixo no estado atual e no estado futuro projetado. Os resultados projetam ganhos em eficiência, redução de desperdícios e melhoria do fluxo produtivo após a futura implementação das ações propostas.

**Tabela 4 – Indicadores desempenho estado futuro**

Indicador	Estado Atual	Estado Futuro	Variação (%)
<i>Lead Time Total (LT)</i>	21,60 h	0,196 h	-99,12 %
Tempo de Valor Agregado por eixo (TVA)	310,5 s	203,73 s	-34,96%
Percentual Agregação de Valor (VAR)	0,40%	28,87%	+ 28,47%
Percentual não Agregação de Valor (NVA)	99,6%	71,13%	-28,47%
Tempo de Espera entre Operações (TE)	21,52 h	0,113 h	-99,49%
Percentual de Utilização (Média)	54,45%	35,73%	-34,19%
Aumento Produtividade	500 eixos	642 eixos	+28,5%
Estoque em Processo (WIP)	250 peças em espera entre operações	Fluxo contínuo, sem acúmulo	Eliminado
Distância percorrida no <i>layout</i> (metros)	168m	23,15m	-144,85 metros
Sistema de Produção	Empurrado, por lote	Puxado, fluxo contínuo	—

Fonte: Compilado pelo autor (2025).

Com base nos dados coletados no processo atual e na projeção do estado futuro, observam-se melhorias nos principais indicadores de desempenho. O *Lead Time Total* reduz-se de 21,6 h para 0,196 h (-99,12%), resultado da eliminação de estoques intermediários e da adoção do fluxo contínuo. O Tempo de Agregação de Valor (TAV) diminui de 310,5 s para 203,73 s/peça (-34,96%), refletindo operações mais rápidas e otimizadas. Como consequência, o Percentual de Valor Agregado aumenta de 0,40% para 28,87% (+28,47%), enquanto o Percentual de Não Agregação de Valor reduz-se de 99,6% para 71,13% (-28,47%). O Tempo de Espera entre Operações sofre a maior redução percentual, passando de 21,52 h para 0,113 h (-99,49%), eliminando praticamente toda a ociosidade entre etapas. Além disso, o WIP

é zerado, e a distância percorrida no *layout* diminui de 168 m para 23,15 m, uma redução de 144 m, reforçando o uso de um fluxo mais compacto.

A utilização média das máquinas apresenta queda de 54,45% para 35,73%, indicando maior capacidade produtiva disponível no sistema futuro. O caso mais representativo é o torno CNC da etapa de Usinar Lado 1, cuja utilização cai de 92,35% para 56,50% (-38,80%). Essa folga produtiva permite projetar um aumento da capacidade produtiva diária, com um acréscimo de +28,5% acima dos 56,50% de utilização previstos, prevendo uma utilização máxima de 85%, passando assim de 500 para aproximadamente 642 eixos/dia, sem investimentos adicionais em máquinas ou mão de obra. O sistema de produção passa de um modelo empurrado por lotes para um fluxo puxado e contínuo, eliminando perdas de movimentação, esperas e estoques intermediários. Por fim, os indicadores de refugo continuam zerados tanto no estado atual quanto no futuro, não havendo registros de não conformidades para o código analisado.

A redução do tempo de processamento do eixo, de 310,5 s para 203,73 s, gera economia diária de em torno 3 horas de operação da linha para produzir 500 eixos dia. Convertendo essa economia ao custo de R\$ 150,00/h, obtêm-se ganhos entre R\$ 450,00 por dia. Assim, o investimento de R\$ 15.400,00 retorna em aproximadamente 34 dias uteis.

#### **4.4 Proposta para implementação do estado futuro**

Para implementar o mapa do estado futuro, as ações propostas foram desdobradas em um Plano de Ação, o qual pode ser observado no Apêndice C.

O plano de ação apresenta uma previsão de desdobramento semanal, com prazos definidos, onde os setores responsáveis por cada atividade deverão ser incluídos em uma futura reunião de melhoria para implementar o mapa do estado futuro.

As atividades do Plano de Ação estão relacionadas com as propostas descritas e trata da criação do mapa de valor do estado futuro bem como da redução de desperdícios abordado pela metodologia.

## 5. Conclusão

O trabalho aplicou o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) na linha de usinagem de eixos da Indústria de Motores Elétricos, com o objetivo de identificar desperdícios e propor melhorias baseadas na Produção Enxuta. A análise do estado atual revelou gargalos, movimentações excessivas e um sistema empurrado, resultando em *lead time* elevado (21,6 h) e baixa agregação de valor (0,40%).

Com base nesse diagnóstico, foi projetado o estado futuro, propondo reorganização do *layout* em células, fluxo contínuo e sistema puxado, além de redução de tempos de ciclo e *setups*. As melhorias indicam ganhos expressivos, como a redução do lead time para 0,196 h (-99%), aumento do valor agregado para 28,87%, eliminação de estoques intermediários e diminuição da distância percorrida para 23,15 metros. Além disso, a capacidade produtiva estimada passa de 500 para aproximadamente 642 eixos/dia com a maior disponibilidade de máquina, cerca de 85%, sem necessidade de investimentos adicionais.

Este estudo demonstra a aplicabilidade e relevância do MFV como ferramenta estratégica para otimização de processos, reforçando sua contribuição para a eliminação de desperdícios e melhoria contínua, sendo uma ferramenta eficaz para otimização de processos, permitindo ganhos em eficiência e competitividade. Como trabalhos futuros, recomenda-se acompanhar a execução do plano de ação, mensurar os ganhos reais após a implementação e explorar a integração do MFV com tecnologias da Indústria 4.0, visando digitalização e monitoramento em tempo real dos fluxos produtivos.

## REFERÊNCIAS

- ALHURAISH, M. *et al.* Lean implementation in small and medium enterprises: literature review. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 31, n. 1-2, p. 152–168, 2020.
- AMARAL, T. G. do; ARAÚJO, F. C. Aplicação do mapeamento de fluxo de valor para redução dos desperdícios da produção. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 18, n. 1, p. 68–80, 2022.
- BENEVEVUTO, A. M. D. *et al.* Mapeamento do fluxo de valor: estudo de caso em uma indústria de alumínio. **Revista Científica SENAI-SP**, v. 3, n. 1, p. 1–12, 2024.

CANKAYA, S. Y. *et al.* Barriers to Lean implementation in SMEs: a systematic review. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 1, p. 57–80, 2021.

CARVALHO, M. M. *et al.* Lean Thinking em ambientes industriais. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 7, n. 2, p. 112–126, 2021.

COSTA, A. L. *et al.* Diagnóstico produtivo com VSM em indústria metalúrgica. **Revista Exacta**, v. 20, n. 3, p. 45–59, 2022.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implementação**. São Paulo: Atlas, 2020.

DIAS, M. F.; SANTANA, T. R.; PEREIRA, A. L. Estratégias Lean com engajamento de equipe. **Revista Engenharia & Produção**, v. 13, n. 1, p. 80–93, 2023.

DIAS, L. R. *et al.* Estabilização e padronização de processos como base para ambientes lean. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 6, n. 1, p. 34–47, 2020.

FERREIRA, M. G.; CORRÊA, D. C.; RIBEIRO, J. P. Mapeamento e melhoria contínua. **Revista Gestão Industrial**, v. 19, n. 1, p. 115–132, 2023.

JABBOUR, C. J. C. *et al.* Sustentabilidade e Lean Manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120–130, 2020.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022. E-book.

LIMA, A. P. *et al.* Análise da maturidade em produção enxuta e seus impactos na performance organizacional. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, n. 2, p. 13–26, 2023.

MARODIN, G. A.; SAURIN, T. A. Lean production: estado da arte. **Revista Gestão da Produção**, v. 27, n. 4, p. 791–806, 2020.

MOURA, E. P. *et al.* Engajamento operacional e MFV: benefícios colaborativos da análise do estado atual. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 43. **Anais...**, out, Fortaleza (CE): ABEPRO, 2023.

MOUTINHO, K. K. G.; SOUZA, R. A.; LIMA, V. M. Gestão de processos e VSM em instituições públicas. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 22, n. 1, p. 65–84, 2022.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, J. M. *et al.* Práticas enxutas e desempenho operacional: um estudo em empresas do setor metalmeccânico. **Revista Gestão Industrial**, v. 17, n. 2, p. 85–102, 2021.

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

SANTOS, J. M. dos; LOOS, M. J. Aplicação do MFV em indústria têxtil. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 7, n. 3, p. 1105–1120, 2020.

SANTOS, R. M. *et al.* O uso do VSM para análise de gargalos em linhas de produção. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, v. 11, n. 2, p. 50–63, 2021.

SEHNEM, S. *et al.* Produção enxuta e MFV. **Brazilian Business Review**, v. 17, p. 151–168, 2020.

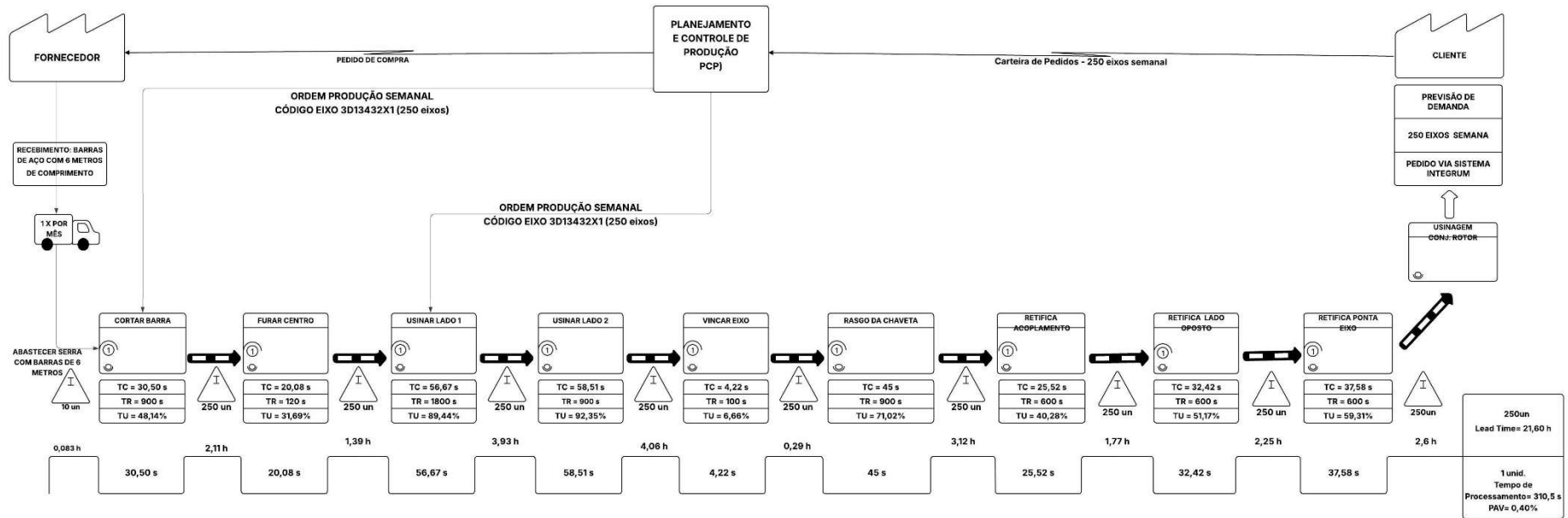
SILVA, T. M. *et al.* Diagnóstico de perdas com VSM. **Revista Exacta**, v. 19, n. 2, p. 120–138, 2021.

SINGH, B. *et al.* Synchronizing material and information flow through value stream mapping and lean tools. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 11, n. 3, p. 567–589, 2020.

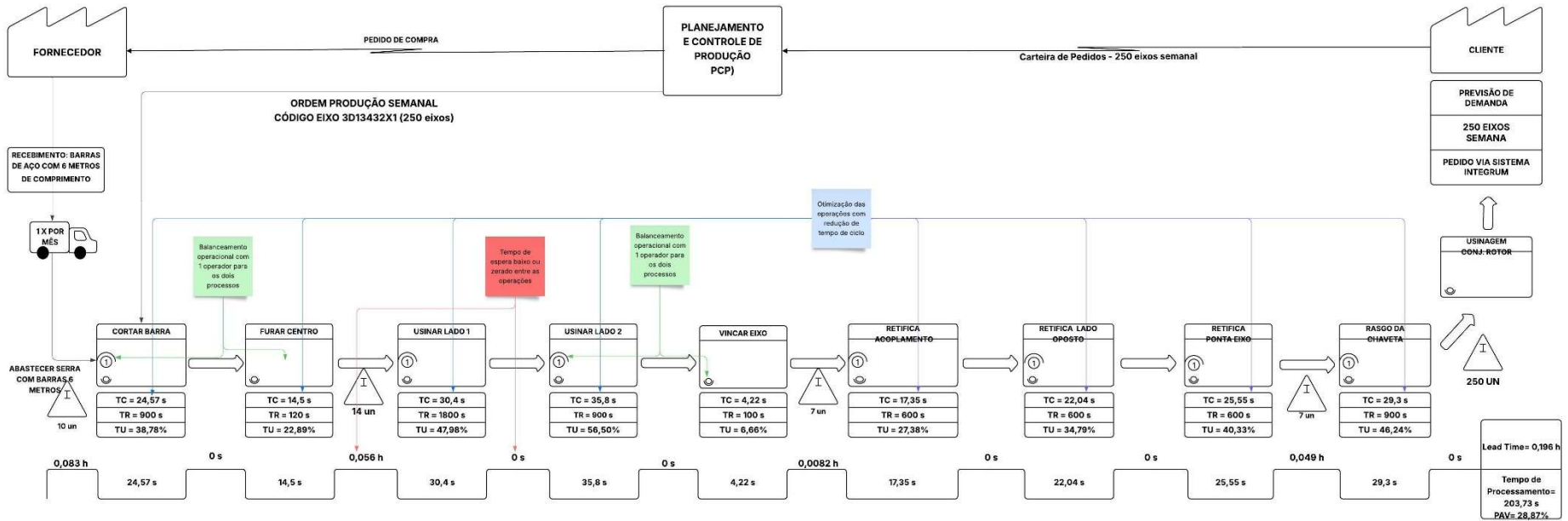
WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**: elimine desperdícios e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

## Apêndice A – USINAGEM EIXO MAPA ATUAL



## Apêndice B – USINAGEM EIXO MAPA FUTURO



## Apêndice C – PLANO DE AÇÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO

Plano de ação para implementar o estado futuro															
id.	Atividade	Tempo estimado (em semanas)										Responsável **	Desperdícios relacionados		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			11	
<b>1</b>	<b>Ajustar layout usinagem de eixos</b>													E/M/G	
1.1	Ajustar posicionamento torno lado 2(etapa 4.1) e prensa vincar (etapa 5.1)													E/M/G	Transporte excessivo entre processos distantes; Tempos de espera elevados entre etapas especialmente nas fases iniciais; Acúmulo de estoque intermediário (WIP) devido ao processamento em lotes; Movimentação desnecessária de operadores causada pelo layout disperso; Fluxo de produção empurrado, sem sincronização entre processos; Gargalos produtivos concentrados nos tornos CNC; Baixa continuidade do fluxo devido à falta de proximidade entre operações.
1.2	Ajustar posicionamento torno Lado 1(etapa 3), torno lado 2(etapa 4) e prensa vincar (etapa 5)													E/M/G	
1.3	Ajustar posicionamento das 3 retificas (etapas 6,7 e 8)													E/M/G	
1.4	Ajustar posicionamento do centro de usinagem rasgo chaveta (etapa 9) e desinstalar fresa convencional.													E/M/G	
1.5	Ajustar posicionamento serra cortar barra (etapa 1) e talha carregamento													E/M/G	
1.6	Instalar e ajustar posicionamento do novo centro de furação furar centro (etapa 2). Desinstalar Furadeiras de bancada.													E/M/G	
1.7	Ajustar posicionamento dos totens eletrônicos para dar entrada e fechamento de processamento das ordens de produção do ERP													E/M/G	
<b>2</b>	<b>Otimizar as operações</b>														
2.1	Solicitar e comprar material fabricação do centro de furação para furar centro barra (etapa 2)													E/C	Paradas operacionais não planejadas; Diferença alta entre tempo de ciclo e tempo de operação real; Baixa padronização das operações; Desbalanceamento entre etapas produtivas; Setups longos e pouco eficientes;
2.2	Fabricar centro de furação para furar centro barra (etapa 2)													F	

