

UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE – UNIPLAC

UNIVERSIDADE DO CONTESTADO – UNC

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS PRODUTIVOS - PPGSP

ALISSON DA SILVA ANDRADE

LEAN MANUFACTURING E SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) APLICADAS AO SETOR DE FORJARIA DE UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO METALOMECÂNICO

LAGES/SC

2024



ALISSON DA SILVA ANDRADE

LEAN MANUFACTURING E SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) APLICADAS AO SETOR DE FORJARIA DE UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO METALOMECÂNICO

Dissertação de Mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre(a) em Sistemas Produtivos.

Orientadora: Profa Dra. Cristina Keiko Yamaguchi

Coorientador: Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo

LAGES/SC

2024

Ficha Catalográfica

A554L

Andrade, Alisson da Silva

Lean manufacturing e single minute exchange of die (smed) aplicadas ao setor de forjaria de uma indústria do segmento metalomecânico / Alisson da Silva Andrade ; orientadora Profa. Dra. Cristina Keiko Yamaguchi ; coorientador Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo. – 2025.

61 f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense ; Universidade do Contestado ; Universidade do Extremo Sul Catarinense ; Universidade da Região de Joinville. Lages, SC, 2025.

1. Lean Manufacturing. 2. *Single Minute Exchange of Die (SMED)*. 3. Otimização de *setup*. 4. Indústria metalomecânica. 5. Redução de resíduos. I. Yamaguchi, Cristina Keiko (orientadora). II. Montedo, Oscar Rubem Klegues (coorientador). III. Universidade do Planalto Catarinense. IV. Universidade do Contestado. V. Universidade do Extremo Sul Catarinense VI. Universidade da Região de Joinville. VII. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos. VIII. Título.

CDD 658.5


FOLHA DE APROVAÇÃO

ALISSON DA SILVA ANDRADE


LEAN MANUFACTURING E SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) APLICADAS AO SETOR DE FORJARIA DE UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO METALOMECÂNICO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a **Dissertação** apresentada no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP, Linha de Pesquisa (Sistemas Produtivos e Sustentabilidade), em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, a Universidade do Contestado – UNC, a Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e a Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Sistemas Produtivos**.


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **CRISTINA KEIKO YAMAGUCHI**
Data: 27/04/2025 19:10:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa. Dra. Cristina Keiko Yamaguchi – PPGSP/UNIPLAC
Presidente da Banca / Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **OSCAR RUBEM KLEGUES MONTEDO**
Data: 28/04/2025 11:02:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo – PPGSP/UNESC
Coorientador

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE FORMIGONI**
Data: 26/04/2025 17:31:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alexandre Formigoni – PPGGTSP / CEETEPS
Membro externo da banca

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO MICHAEL BERNARDIN**
Data: 28/04/2025 10:44:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin – PPGSP/UNESC
Membro interno da banca

Lages, SC, 12 de dezembro de 2024

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente agradeço aos meus pais e minha esposa.

- Aos meus orientadores, Profa. Dra. Cristina Keiko Yamaguchi e ao Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo pelas contribuições, alinhamentos e orientações para finalização da Dissertação.

- À Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, a Universidade do Contestado – UNC, a Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e a Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, que me oportunizaram a participação e aquisição de conhecimento no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos;

- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela contribuição e investimentos na formação de recursos de alto nível por meio da pesquisa científica e estímulo na consolidação da pós-graduação no País;

- À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC, CHAMADA PÚBLICA 48/2021 - PROGRAMA FAPESC DE FOMENTO À PÓS-GRADUAÇÃO EM INSTITUIÇÕES DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DO ESTADO DE SANTA CATARINA.

RESUMO

Andrade, Alisson da Silva. **LEAN MANUFACTURING E SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) APLICADAS AO SETOR DE FORJARIA DE UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO METALOMECÂNICO.** (2024), 61 f. (Mestrado em Sistemas Produtivos). Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, da Universidade do Contestado – UNC, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Lages, (2024).

Contextualização: No cenário atual, a indústria metalomecânica enfrenta desafios significativos para melhorar a eficiência e reduzir custos. Em um mercado competitivo, empresas que utilizam maquinários antigos precisam adotar estratégias eficazes para aumentar a produtividade e eliminar desperdícios. A filosofia *Lean Manufacturing* e a ferramenta *Single Minute Exchange of Die (SMED)* são reconhecidas por melhorar processos industriais, com foco na eliminação de atividades que não agregam valor e na redução do tempo de setup. **Objetivo:** Este trabalho buscou implementar as o *Lean Manufacturing* e o *SMED* no setor de forjaria de uma indústria metalomecânica, com o propósito de otimizar o tempo de setup, reduzir desperdícios e melhorar a eficiência global do processo produtivo. **Metodologia:** A pesquisa utilizou uma abordagem qualitativa e quantitativa, combinando observação direta, descrição, experimentação e intervenção no processo. Foram realizadas cinco coletas de dados antes e cinco após a intervenção para avaliar o impacto da filosofia e ferramenta implementadas. **Resultados:** A aplicação da filosofia *Lean* e a ferramenta *SMED* resultou em uma significativa redução no tempo de *setup*, além de melhorias na organização e segurança no ambiente de trabalho. Esses avanços aumentaram a eficiência e produtividade e reforçaram a cultura de melhoria contínua dentro da organização. **Considerações finais:** A pesquisa contribui para o setor metalomecânico ao demonstrar a viabilidade de replicar essas metodologias em outras indústrias, gerando impactos produtivos e econômicos e positivos.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*; *Single Minute Exchange of Die (SMED)*; otimização de *setup*; indústria metalomecânica; redução de desperdícios.

ABSTRACT

Andrade, Alisson da Silva. **LEAN MANUFACTURING AND SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) APPLIED TO THE FORGING SECTOR OF A METALWORKING INDUSTRY.** (2024), 61 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos). Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, da Universidade do Contestado – UNC, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Lages, (2024).

Background: In the current scenario, the metalworking industry faces significant challenges to improve efficiency and reduce costs. In a competitive market, companies that use old machinery need to adopt effective strategies to increase productivity and eliminate waste. The Lean Manufacturing philosophy and the Single Minute Exchange of Die (SMED) tool are recognized for improving industrial processes, focusing on eliminating non-value-added activities and reducing setup time. **Objective:** This study sought to implement Lean Manufacturing and SMED in the forging sector of a metalworking industry, with the purpose of optimizing setup time, reducing waste and improving the overall efficiency of the production process. **Methodology:** The research used a qualitative and quantitative approach, combining direct observation, description, experimentation and intervention in the process. Five data collections were carried out before and five after the intervention to evaluate the impact of the philosophy and tool implemented. **Results:** The application of the Lean philosophy and the SMED tool resulted in a significant reduction in setup time, in addition to improvements in the organization and safety of the work environment. These advances have increased efficiency and productivity and reinforced the culture of continuous improvement within the organization. **Final considerations:** The research contributes to the metalworking sector by demonstrating the feasibility of replicating these methodologies in other industries, generating positive productive and economic impacts.

Keywords: Lean Manufacturing; Single Minute Exchange of Die (SMED); setup optimization; metalworking industry; Reduction of waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Framework</i> sobre a interdisciplinaridade do estudo	14
Figura 2 Flange	26
Figura 3 Etapas do estudo	29
Figura 4 <i>Layout</i> do setor de forjaria	30
Figura 5 Bancada modular	44
Figura 6 Explosão dos componentes do estojo	45
Figura 7 Desenho do estojo inferior	46
Figura 8 Desenho do estojo superior	46
Figura 9 Imagem do estojo moldado	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Observação antes da intervenção	27
Tabela 2 Controle das observações de <i>setup</i>	35
Tabela 3 Tempos de observação da situação de <i>setup</i> atual	37
Tabela 4 Procedimento de <i>check list</i> do ferramental	41
Tabela 5 Procedimento de <i>check list</i> do pré- <i>setup</i>	42
Tabela 6 Procedimento de <i>setup</i>	43
Tabela 7 Tempo de observação da situação de <i>setup</i> pós-intervenção	47
Tabela 8 Dados comparativos entre grupos de <i>setup</i>	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (se houver)

SMED - Single Minute Exchange of Die



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3.1 Inserção social.....	13
1.4 CARACTERIZAÇÃO INTERDISCIPLINAR E ADERÊNCIA AO PROGRAMA	14
1.5 ESTRUTURA GERAL DO DOCUMENTO	15
2 PANORAMA TEÓRICO.....	16
1.1 FORJARIA	16
1.1.1 Tipos de forjaria	16
1.1.2 Etapas de forjaria	17
1.1.3 Tecnologias de forjaria.....	18
2.2 <i>LEAN MANUFACTURING</i>	19
2.2.1 Kaizen: cultura da melhora contínua	20
2.2.2 Sistema 5S: Organização e Eficiência.....	20
2.2.3 Os 8 Desperdícios do <i>Lean Manufacturing</i>	21
2.3 SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE – <i>SMED</i>	22
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	24
3.1 ABORDAGEM, OBJETIVOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	25
3.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	26
3.2.1 Material e dimensões do flange	27
3.2.2 Descrição do local e população em estudo	28
3.2.3 Etapas da pesquisa.....	28
3.3 PROCESSO DE COLETA DE DADOS	34
3.4 PROCESSO DE ANÁLISE DE DADOS	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL.....	37
4.2 APLICABILIDADE DO ESTUDO PARA SUA ÁREA DE CONHECIMENTO, SETOR/SEGMENTO OU REGIÃO.....	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A indústria metalomecânica a ser estudada que tem seu polo industrial na cidade de Lages-SC, produz e fornece material rodante para máquinas de trabalho nos segmentos da agricultura, construção civil, mineração e florestal. A principal linha de produção é a de forjamento de peças a quente, de modo geral o maquinário para linhas de forjaria tem alto custo de aquisição o que acaba resultando em máquinas antigas nessas linhas, como consequência devido a tecnologia defasada essas máquinas também são responsáveis por grande consumo energético. A competitividade entre empresas nesses segmentos é muito acirrada, pois há várias multinacionais com recursos tecnológicos muito acima da indústria em questão devido ao poder econômico destas ser exponencialmente maior. Porém existem meios de melhorar o processo produtivo diminuindo custos, reduzindo ou eliminando desperdícios e aumentando a produtividade investindo em metodologias, o que se torna muito mais barato e viável.

A filosofia de gestão *Lean Manufacturing* é de suma importância para as empresas avaliarem onde há desperdícios e oportunidades de melhoria por meio de ferramentas como mapeamento de fluxo e valor e levantamento dos 8 desperdícios.

O *Lean Manufacturing* promove a identificação do que agrega valor (e do que não agrega) na perspectiva do cliente; a interligação das etapas necessárias à produção de bens no fluxo do valor, de tal modo que este avance sem interrupções, desvios, retornos, esperas ou refugos (Silva et al., 2011).

O *setup* é o conjunto das tarefas necessárias para a mudança de produção de um lote de produtos X para a produção de um lote de produtos Y, desde o momento em que se termina de produzir a última peça de X até o momento de produção do primeiro de Y nas condições de qualidade determinadas (Zanella & Branco, 2019)

Para avaliar o *setup* do processo em estudo será utilizado a ferramenta *Single Minute Exchange of Die - SMED* que tem por definição uma abordagem científica para redução do *setup*, que pode ser aplicada em qualquer fábrica ou equipamento (Sugai et al., 2007).

Ter a capacidade de produzir com rapidez, no tempo certo e com um processo gerando o mínimo de resíduos pode ser considerado um desafio para qualquer empresa.

1.1 PROBLEMA

Algumas empresas não possuem processos produtivos otimizados, com capacidade de avaliar em quais etapas ocorrem desperdícios ou se há oportunidade de melhoria, o método *Lean Manufacturing* proporciona as ferramentas necessárias para analisar qualquer processo e identificar as oportunidades de melhoria.

Para definir os objetivos do estudo ocorre a seguinte pergunta: O *Lean Manufacturing* em conjunto com a metodologia *SMED* pode otimizar o tempo de *Setup* no processo da forjaria e contribuir para a redução de desperdícios da empresa estudada?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Implementar a filosofia *Lean Manufacturing* e a ferramenta *Single Minute Exchange of Die - SMED* no setor de forjaria de uma indústria metalomecânica, com o propósito de reduzir desperdícios e melhorar a eficiência global do processo produtivo

1.2.2 Objetivos específicos

1. Empregar a filosofia *Lean Manufacturing* e a ferramenta *SMED*;
2. Modificar o processo atual de *setup* e da produção para melhorá-lo e reduzir custos;
3. Investigar os dados de *setup* antes e após a aplicação da filosofia *Lean Manufacturing* e a ferramenta *SMED* no processo produtivo da forjaria.

1.3 JUSTIFICATIVA

As empresas que se mantêm competitiva junto a seus concorrentes no segmento em que atuam, buscam permanentemente a melhoria contínua de seus processos e produtos a fim de garantir a produtividade, a qualidade e a satisfação do cliente.

As atualizações envolvem compras de maquinários modernos, novas tecnologias, melhorias em seus processos, produtos ou serviços e evolução de seus recursos humanos, assim como sua capacitação (Saba e Silva & De Genaro Chiroli, 2020).

O processo produtivo estudado foi em uma indústria metalomecânica, específico no setor de forjaria, no intuito de contribuir e demonstrar que é possível aplicar a metodologia em outros segmentos, para melhorar o tempo de *setup* com eficiência e segurança aos operadores em qualquer área de produção de uma indústria.

O estudo se justifica quando buscar-se otimizar o processo da linha de forjaria aplicando a filosofia *Lean Manufacturing* em conjunto com a ferramenta *SMED* para resolver problemas de tempo com *setup* de equipamento, reduzindo perdas e aumentando a eficiência do processo produtivo.

1.3.1 Inserção social

Buscou promover a inserção social na própria empresa e poderá ser replicada em outras empresas.

Na própria empresa:

- 1) Gerar maior eficiência produtiva,
- 2) Reduziu custos,
- 3) Melhorou a qualidade do processo e do produto da forjaria;
- 4) Reduziu o impacto ambiental,
- 4) Melhorou a competitividade e alavancar a economia local.

Em outras empresas:

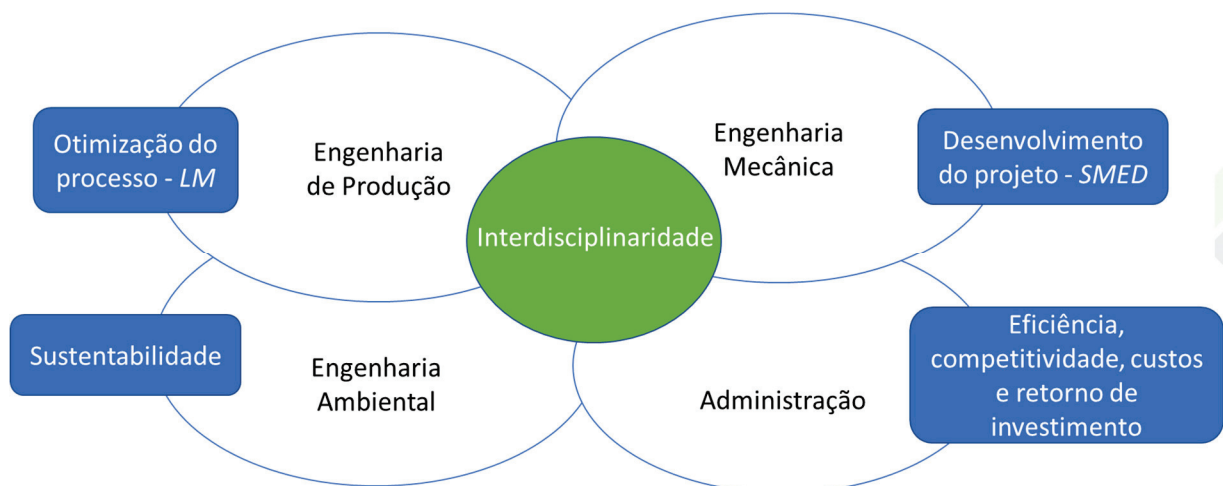
- 5) Replicar em outras empresas que possuem o processo de forjaria, a fim de otimizar o tempo de *setup* dos processos produtivos.

1.4 CARACTERIZAÇÃO INTERDISCIPLINAR E ADERÊNCIA AO PROGRAMA

O dia a dia dos profissionais da engenharia de produção requer a utilização da interdisciplinaridade, quer seja para conversar com os outros profissionais, ou mesmo para conversar consigo mesmo, isto é, com seu conhecimento (Furlanetto, 2007)

Figura 1

Framework sobre a interdisciplinaridade do estudo



Fonte: O autor (2024)

A Figura 1 mostra que as diferentes áreas de conhecimento neste estudo estão interligadas, caracterizando a interdisciplinaridade da pesquisa.

A engenharia de produção controla processos de fabricação de produtos, o uso dos recursos e pode ser requisitado tanto para funções estratégicas ou operacionais dentro de uma organização.

A engenharia mecânica tem suas atividades voltadas para a construção e o desenvolvimento de projetos de sistemas mecânicos.

A administração busca estruturar processos gerenciais e controlar recursos internos, como tempo, finanças e materiais.

O projeto é a otimização de uma linha de produção de peças forjadas por meio da redução de tempo de *setup*. Para esse projeto é necessário o conhecimento da engenharia de produção, pois se trata de um processo de fabricação, o conhecimento da engenharia mecânica para desenvolvimento dos ferramentais mecânicos que auxiliaram na otimização do processo, conhecimentos da administração para descrever a relação custo-benefício do projeto e a segurança do trabalho para avaliar as situações de risco no processo atual e as possíveis melhorias para com a segurança das pessoas envolvidas pós otimização.

Possui aderência à **Linha de Pesquisa 2 - Sistemas Produtivos e Sustentabilidade**, pois trata da otimização de um processo produtivo da forjaria com impacto econômico e ambiental numa indústria metalomecânica.

1.5 ESTRUTURA GERAL DO DOCUMENTO

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos. O capítulo 1 apresenta a introdução da pesquisa, descreve o contexto, bem como os desafios para a realização da pesquisa, detalha os objetivos e por fim apresenta a justificativa e a relevância para a realização da pesquisa a aderência ao programa e a indicação de interdisciplinaridade.

Na sequência, no capítulo 2, apresenta-se o referencial teórico, nos temas relevantes a serem estudados, incluindo-se as seções: (1) Forjaria; (2) *Lean Manufacturing*; (3) *Single Minute Exchange of Die – SMED*.

O capítulo 3 descreve a metodologia da pesquisa, detalhamento de todas as fases e etapas e a classificação dela.

Segundo para o capítulo 4, o qual descreve o resultado da pesquisa em conformidade com os achados e em conformidade com o referencial abordado no capítulo 2; por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais, limitações da pesquisa e indicações de trabalhos futuros.

2 PANORAMA TEÓRICO

1.1 FORJARIA

De acordo com Yoshida (1974, p. 94) “forjamento é a operação de trabalhar o metal, na maioria das vezes a quente, por aplicações contínuas e intermitentes de pressões”.

Segundo Kalpakjian e Schmid (2010), o forjamento é uma técnica essencial na indústria metalúrgica, utilizada para moldar metais em peças com alta resistência. Seu princípio baseia-se na deformação plástica de metais por meio da aplicação de forças compressivas, alterando a geometria do material sem comprometer suas propriedades mecânicas

O forjamento é um processo de conformação mecânica amplamente utilizado na indústria metalomecânica. Schaeffer (2016) complementa explicando que a conformação mecânica permite reduzir custos e elevar a competitividade das empresas que dominam esse processo. Além disso, o forjamento é essencial porque possibilita alcançar propriedades mecânicas que outros métodos não conseguem obter.

1.1.1 Tipos de forjaria

Button (1999) afirma que o processo de forjamento apresenta variações de acordo com a temperatura que pode ser quente, morno, frio ou isotérmico, aberta ou em matriz fechada com ou sem rebarba, em prensa ou martelo. Da mesma forma, Yoshida (1974) contribui afirmando que na operação de forjamento é importante que a temperatura da peça seja aquecida de maneira uniforme. São características da forjaria:

- 1) O forjamento a quente é o processo mais comum. Nesse método, o metal é aquecido a uma temperatura em que sua maleabilidade é máxima, facilitando a deformação e a conformação. Segundo o artigo de Li et al. (2018), a temperatura é mantida entre 950 e 1250 °C, acima da temperatura de recristalização, resultando em boa conformabilidade e baixas forças de conformação. Isso é especialmente útil para peças de grande porte ou complexas que requerem uma modelagem mais extensa;
- 2) O forjamento a frio ocorre em temperatura ambiente ou ligeiramente elevada resultando em uma deformação mais uniforme e precisa do metal sendo escolhido quando a tolerância dimensional é crítica. Segundo o estudo de Zhang et al. (2019), o forjamento a frio é mais comum em aplicações que requerem peças com tolerâncias precisas, como componentes de motores ou peças de precisão;

- 3) O forjamento a morno ocorre em uma temperatura intermediária, que combina as vantagens de ambas as abordagens, proporcionando uma deformação relativamente precisa, enquanto ainda capitaliza a maleabilidade melhorada associada ao calor moderado. Segundo o estudo de Wang et al. (2020), o forjamento a morno é frequentemente escolhido quando há a necessidade de peças de tamanho médio com requisitos de tolerância e propriedades mecânicas específicas;
- 4) O forjamento isotérmico é um processo que envolve a aplicação de calor uniforme ao metal durante a deformação, permitindo que o material seja moldado de forma permanente sem rachaduras. Segundo o artigo de Kim et al. (2017), a recristalização metalúrgica e o refinamento de grãos resultam do ciclo térmico e do processo de deformação, fortalecendo o produto de aço forjado resultante;
- 5) Schaeffer (2011) cita que o forjamento em matriz aberta é um processo que envolve a compressão de uma massa metálica por uma matriz inferior e uma superior deformando-se de maneira livre. Isso é especialmente útil para a fabricação de grandes peças com formatos simples, como ferramentas agrícolas, eixos de navios, ganchos, turbinas, correntes, âncoras, alavancas e ferramentas para a indústria agrícola;
- 6) No forjamento em matriz fechada o material a ser transformado é completamente confinado entre duas matrizes. Nesse método, a geometria final da peça é moldada pelo negativo presente na matriz superior, na inferior, ou em ambas. O forjamento geralmente é feito a quente, visando reduzir as forças exigidas pela ferramenta e aumentar a ductilidade do material (ASM 2005).

1.1.2 Etapas de forjaria

Conforme Unver e Kara (2019), o processo de forjamento é composto por diversas etapas bem delineadas. Cada fábrica, com suas características únicas, estabelece as fases que integrarão seu processo produtivo. Schaeffer (2016) listou algumas dessas etapas, como corte, aquecimento de *blanks*, pré-forma, forjamento, calibração, tratamento térmico. A definição dessas etapas varia conforme o produto e o *design* do processo.

- 1) Seleção do Material: a primeira etapa envolve a escolha do material adequado para a aplicação final da peça. Os materiais mais comuns são aços carbono e ligas metálicas, como aço inoxidável, ligas de alumínio, titânio e superligas. A escolha é baseada nas propriedades mecânicas desejadas, como resistência à tração, dureza e ductilidade (Totten, 2018).
- 2) Corte da Matéria-Prima: após a seleção do material, a matéria-prima (geralmente em forma de tarugos ou barras) é cortada no tamanho necessário para forjamento. Esse corte pode ser

realizado por meio de tesouras mecânicas, serras de fita ou corte térmico (plasma, oxicorte ou laser) (Groche et al., 2017).

- 3) Aquecimento do Material: o material cortado (tarugo ou blank) é aquecido até a temperatura ideal de forjamento, que varia conforme o material. O aquecimento pode ser feito por fornos elétricos, a gás ou por indução, sendo este último mais eficiente devido ao menor consumo energético e aquecimento uniforme (Fischer et al., 2019).
- 4) Aplicação de Lubrificação: a lubrificação das matrizes é fundamental para reduzir o atrito, desgaste da ferramenta e defeitos na peça. Os lubrificantes mais comuns são grafite em solução aquosa para aços e óleos sintéticos para alumínio e ligas leves (Kim et al., 2017).
- 5) Posicionamento do Material na Matriz: o material aquecido é colocado na cavidade da matriz para iniciar a conformação. O correto posicionamento evita desalinhamentos, defeitos na peça e desperdício de material (Altan et al., 2012).
- 6) Deformação Mecânica (Forjamento): essa é a etapa principal do processo, onde o metal é conformado por meio de forças compressivas aplicadas por martelos ou prensas. A deformação pode ser feita em uma ou mais etapas, dependendo da complexidade da peça (Kalpakjian & Schmid, 2010).
- 7) Rebarbação (Remoção de Excesso de Material): no forjamento em matriz fechada, ocorre a formação de rebarbas devido à expulsão do excesso de material para fora da cavidade da matriz. Esse excesso deve ser removido por corte mecânico ou usinagem para garantir o acabamento adequado da peça (Wang et al., 2020)
- 8) Inspeção e Controle de Qualidade: a última etapa do processo envolve a verificação das especificações técnicas e dimensionais da peça. Isso pode incluir testes de resistência à tração e impacto, inspeção por ultrassom, partículas magnéticas ou líquidos penetrantes, controle dimensional e acabamento superficial (Altan et al., 2012).

1.1.3 Tecnologias de forjaria

Nas últimas décadas, a indústria de forjaria passou por avanços significativos, impulsionados pela Indústria 4.0 e pelo desenvolvimento de novas ligas metálicas como simulação computacional do processo de forjamento que permite prever o fluxo do material durante o forjamento, reduzindo desperdícios e otimizando o design das matrizes (Altan et al., 2012). Essas ferramentas auxiliam na redução de custos, minimização de falhas e melhoria da qualidade das peças produzidas.

O forjamento inteligente e monitoramento em tempo real com o avanço da indústria 4.0, sensores inteligentes são integrados às prensas de forjamento, monitorando temperatura, pressão e taxa de deformação em tempo real. Isso permite ajustes automáticos do processo, aumentando a eficiência e reduzindo a variabilidade dimensional das peças (Fischer et al., 2019).

O forjamento por indução consiste no aquecimento por indução eletromagnética tem substituído fornos convencionais em diversas aplicações de forjaria. Esse método oferece vantagens como aquecimento mais rápido e uniforme, menor consumo de energia e redução da oxidação superficial (Kim et al., 2017).

A preocupação com o meio ambiente levou a indústria de forjaria a adotar práticas mais sustentáveis, incluindo o uso de fluidos de conformação biodegradáveis, reciclagem de metais e otimização do consumo energético (Wang et al., 2020). Além disso, novas técnicas, como a redução da emissão de CO₂ no processo de aquecimento das peças, estão sendo implementadas para minimizar impactos ambientais e garantir processos de forjamento mais sustentáveis.

2.2 LEAN MANUFACTURING

O *Lean Manufacturing* é um método de produção que surgiu no Japão entre o final da década de 1940 e o início da década de 1950, durante o período pós-guerra. Criado pela empresa japonesa *Toyota Motor Company*, esse sistema foi inicialmente denominado *TPS - Toyota Production System* (Ohno, 2019).

O sucesso alcançado pela Toyota com a implementação do TPS, também conhecido como *Lean Manufacturing*, foi amplamente estudado ao redor do mundo, levando à adoção de suas práticas em diversas áreas como medicina, logística, tecnologia da informação, entre outras (Costa, 2020).

Womack e Jones (2003) introduziram o Sistema Toyota de Produção (TPS) no Ocidente sob o nome de manufatura enxuta. A Manufatura Enxuta se destaca como um modelo de gestão de processos de manufatura. Taj (2008) e Eatok et al. (2009) a definem como um conjunto de conceitos, princípios, métodos, procedimentos e ferramentas focados na melhoria do fluxo de produção, por meio da eliminação de desperdícios.

O sucesso da aplicação da filosofia Lean está intrinsecamente ligado ao capital humano, tornando essencial considerar a Cultura Organizacional da empresa durante sua implementação. No contexto Lean, a cultura organizacional é baseada em dois valores fundamentais que devem orientar o trabalho da organização: "respeito pelas pessoas" e "melhoria contínua" (Montini et al., 2020).

As empresas estão cada vez mais preocupadas com o bem-estar e a satisfação de seus trabalhadores, reconhecendo a importância de estabelecer metas de longo prazo (Lee & Park, 2021). Para assegurar a realização de uma visão de desenvolvimento e sustentabilidade, cada organização precisa se desenvolver e se adaptar continuamente às novas demandas e oportunidades do mercado, utilizando estratégias como o *Lean Manufacturing* (Vinoth Kumar et al., 2020).

Nos últimos anos, as empresas têm enfrentado uma pressão crescente para tornar seus sistemas de produção mais sustentáveis. Essa sustentabilidade produtiva se manifesta na gestão dos

processos, enfatizando a redução de desperdícios, a reorganização das linhas de produção, a otimização dos estoques e a diminuição dos tempos de *setup* (Kafuku, 2019).

Para que o *Lean Manufacturing* seja completamente implementado, é essencial adotar várias ferramentas, incluindo a Troca Rápida de Ferramentas (*SMED*). O *Setup SMED* consiste em um conjunto de atividades que preparam um sistema para a fabricação de um produto, enquanto o tempo de *setup* refere-se ao intervalo de preparação entre a conclusão do último produto fabricado e o início do primeiro produto fabricado no próximo processo (Ribeiro et al. (s.d.)).

2.2.1 Kaizen: cultura da melhora contínua

Kaizen é um conceito japonês que significa "melhoria contínua" e tem como base o envolvimento de todos os colaboradores da empresa na busca por aprimoramentos constantes no processo produtivo (Imai, 1997).

De acordo com Suzaki (1993), o Kaizen enfatiza pequenas melhorias diárias em vez de mudanças radicais, promovendo um ambiente de trabalho mais eficiente e motivador. Sua aplicação envolve a identificação de problemas no processo, engajamento dos operadores na busca por soluções e pequenas alterações testadas e implementadas continuamente. ao longo do tempo, esse ciclo de melhorias incrementais resulta em redução de custos, aumento de produtividade e melhor qualidade do produto final.

2.2.2 Sistema 5S: Organização e Eficiência

De acordo com Hirano (1996) O 5S é uma metodologia japonesa voltada para organização, limpeza e padronização do ambiente de trabalho, garantindo maior produtividade e segurança. Criado no Japão na década de 1950, o nome 5S deriva das iniciais das palavras japonesas:

- 1) *Seiri* (Senso de Utilização) – Eliminar itens desnecessários no ambiente de trabalho.
- 2) *Seiton* (Senso de Ordenação) – Organizar ferramentas e materiais de forma lógica e acessível.
- 3) *Seiso* (Senso de Limpeza) – Manter o ambiente sempre limpo e livre de sujeira.
- 4) *Seiketsu* (Senso de Padronização) – Criar padrões visuais e procedimentos claros para manter a organização.
- 5) *Shitsuke* (Senso de Autodisciplina) – Criar uma cultura de disciplina e manutenção contínua dos 5S.

Segundo Hirano (1996), a implementação do 5S reduz desperdícios, melhora a segurança e facilita a padronização das operações, tornando o ambiente mais eficiente e produtivo.

2.2.3 Os 8 Desperdícios do *Lean Manufacturing*

O conceito de desperdício no *Lean Manufacturing* foi inicialmente desenvolvido por Taiichi Ohno (2019), um dos principais engenheiros do Toyota Production System (TPS). Ohno identificou que muitas atividades dentro da produção não agregam valor ao cliente e, por isso, deveriam ser eliminadas ou reduzidas. Ele categorizou sete tipos de desperdícios, posteriormente expandidos para oito com a introdução do desperdício relacionado ao não aproveitamento do potencial humano (Liker, 2004).

1) Superprodução: ocorre quando mais produtos são fabricados do que a demanda real exige, resultando em estoques excessivos e desperdício de recursos. Segundo Womack e Jones (2003), este é o desperdício mais prejudicial, pois gera custos extras de armazenagem e pode levar à obsolescência de produtos.

2) Tempo de espera: ocorre quando trabalhadores, máquinas ou produtos ficam parados, aguardando uma ação para continuar o fluxo de produção. Segundo Hines e Rich (1997), esse desperdício é causado por falta de sincronização entre processos, quebras de máquina ou tempos de ajuste elevados.

3) Transporte desnecessário: ocorre quando peças ou materiais são movimentados de um local para outro sem necessidade, aumentando os custos e o risco de danos. Conforme Shingo (1985), transportes excessivos geralmente indicam que o layout da fábrica não está otimizado.

4) Processamento excessivo: quando atividades desnecessárias ou complexas são executadas no processo produtivo sem agregar valor ao cliente. De acordo com Monden (2012), isso pode ocorrer por falta de padronização, requisitos mal definidos ou processos obsoletos.

5) Estoque Excessivo: o acúmulo de matéria-prima, produtos em processo ou produtos acabados além do necessário causa desperdício de espaço e capital. Ohno (2019) argumenta que estoques elevados ocultam problemas no fluxo de produção e geram custos desnecessários.

6) Movimentação desnecessária: refere-se ao esforço excessivo dos operadores devido a uma má organização do ambiente de trabalho. Segundo Suzuki (1993), movimentações repetitivas e longas distâncias de deslocamento aumentam a fadiga dos trabalhadores e reduzem a produtividade.

7) Defeitos: peças produzidas fora da especificação causam retrabalho, desperdício de material e aumento de custos. De acordo com Juran (1992), defeitos são um dos desperdícios mais críticos, pois impactam diretamente a qualidade e a satisfação do cliente.

8) Não aproveitamento do talento humano: este desperdício foi posteriormente adicionado à lista original e refere-se ao não aproveitamento das habilidades e conhecimentos dos trabalhadores.

Segundo Liker (2004), a cultura Lean deve incentivar os operadores a participar ativamente da melhoria contínua.

2.3 SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE – SMED

Uma maneira eficaz de obter bons desempenhos em um processo de troca é a implementação da metodologia *Single Minute Exchange of Die (SMED)* proposta por Shingo (1985). Destina-se a executar a configuração do equipamento em um número de minutos de um dígito.

O *SMED* foi aplicado com sucesso em diferentes indústrias, desde a produção de máquinas pesadas até a indústria de alimentos e moda.

A implantação do *SMED* pode ser justificada pelos benefícios que oferece às empresas. Shingo (1985) apontou que depois que a empresa *Toyota Amkawa Auto Body Industries* implementou o *SMED* em uma de suas fábricas, ela ganhou uma produção mais suave e prazos de entrega mais curtos.

Haddad, Shaheen, Németh (2021) explica que o *SMED* fornece um caminho estruturado para realizar trocas mais rápidas, reduzindo assim as perdas de tempo de inatividade do sistema, que impactam no fator de disponibilidade do *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*.

Mileham et al. (1999) afirma que “A redução dos tempos de troca deve ocorrer dentro de uma metodologia geral destinada a garantir o sucesso e a sustentabilidade”. Portanto, pode-se dizer que o sucesso e a sustentabilidade são as medidas de desempenho para os esforços de redução do tempo de *setup*.

Os tempos padrão são usados em todos os departamentos de uma empresa. A padronização do processo de troca é usada para revisar os tempos padrão e torná-los precisos e claros (Niebel, 2003).

Uma importante lacuna da *SMED* foi a consideração e motivação do fator humano. Esta questão é discutida nos textos acadêmicos de (McIntosh et al., 1996). Outra discussão importante sobre a técnica *SMED* na literatura é o impacto do projeto nas operações de configuração (Patel, 2001).

Do ponto de vista “*Lean*”, a porcentagem de tempo gasto para executar as atividades de troca que levam ao tempo de parada da máquina é classificada como cenário sem valor agregado, que deve ser eliminado ou minimizado (Rajebhosale, 2013).

Segundo Sugai (2007), o termo “*setup*” tem diferentes traduções, sendo “preparação” a mais adequada no contexto da engenharia de fabricação. Assim, o “*tempo de setup*” corresponde ao tempo de preparação necessário para ajustar um equipamento e iniciar a produção de um novo produto, o que, em alguns casos, pode exigir a interrupção do processo. Esse tempo é geralmente definido como o intervalo necessário para transitar da produção de um item A para um item B, mantendo os padrões

de qualidade. Para otimizar o *setup*, as atividades são divididas em duas categorias: o *setup interno*, que inclui as tarefas que só podem ser realizadas com a máquina parada, e o *setup externo*, composto por tarefas que podem ser executadas enquanto a máquina permanece em operação, tanto antes como depois do *setup*.



3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A empresa com a necessidade de flexibilidade, aumento de produção e a incapacidade de atender com o atual processo produtivo, a atividade buscou a flexibilidade e o aumento da produtividade por meio da identificação de oportunidades. Foram aplicadas a filosofia *Lean Manufacturing* e a ferramenta *SMED*.

A análise de perdas requer a observação do processo produtivo para identificar desperdícios. O processo ocorreu numa indústria metalomecânica, localizada no sul do Brasil, com mais de 300 funcionários. Ela atua nos setores de mineração, construção civil, agrícola e setor florestal, e atende clientes em todo Brasil. Entretanto, em virtude da forte concorrência local, a empresa é constantemente desafiada a reduzir custos e aumentar a produção para atender novas demandas. Nesse contexto, surgiu a necessidade de treinamentos formais em produção enxuta e *SMED* para que possa atender essas demandas.

O estudo focou na análise de componentes forjados pertencentes à família de flanges. O processo produtivo foi examinado com o intuito de identificar oportunidades de aprimoramento nas atividades e nas células de trabalho que apresentavam características de gargalos, os quais foram priorizados para otimização dos resultados. A ferramenta *SMED (Single-Minute Exchange of Die)* foi empregada no intuito de reduzir os tempos de *setup*, complementada pela aplicação de técnicas dos cinco sentidos, que promoveram a organização e o incremento da produtividade. Além disso, realizou-se a redistribuição das atividades nas células produtivas para minimizar a ocorrência de gargalos. A adequação e a padronização dos processos em conformidade com normas internacionais culminaram em uma nova e aprimorada condição de produtividade

Para compreender os processos do *setup* antes e após a intervenção, foi necessário um mapeamento detalhado das atividades executadas na linha de forjaria da empresa. Inicialmente, foi feita uma análise minuciosa do processo atual, identificando cada etapa do *setup*, desde a finalização da produção do lote anterior até a liberação da primeira peça do novo lote. Para isso, foram realizadas observações diretas no ambiente produtivo, cronometrando os tempos de cada atividade e avaliando os gargalos existentes.

O primeiro passo foi registrar todas as ações executadas pelos operadores, agrupando-as conforme suas características. Notou-se que havia uma grande quantidade de desperdícios, como movimentação excessiva, tempos de espera pela empilhadeira e ajustes repetitivos das matrizes. Além disso, a falta de padronização nas atividades e a organização inadequada dos materiais e ferramentas contribuíam para um tempo de *setup* elevado e variável entre as execuções. Foram

identificadas nove categorias principais de atividades, abrangendo desde a segurança inicial do processo, passando pela movimentação e ajuste das matrizes, até a liberação final para produção.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A abordagem da pesquisa centrou-se na avaliação do processo de *setup* na forjaria em questão, considerando tanto o estado atual quanto as melhorias implementadas a partir do projeto proposto, empregando métodos qualitativos e quantitativos, uma vez que a natureza da pesquisa abrange ambas as categorias.

O objeto de estudo é configurado como um caso singular, e as técnicas de pesquisa incluem observação, estudos descritivos, experimentação e intervenções.

Conforme Richardson (1999), a pesquisa quantitativa se caracteriza pela utilização de métodos de quantificação na coleta e na análise de dados, adotando técnicas estatísticas para o tratamento das informações obtidas.

Por outro lado, Gil (1999) ressalta que a abordagem qualitativa permite uma investigação aprofundada das questões relacionadas ao fenômeno em estudo e suas interconexões, priorizando o contato direto com o contexto da pesquisa para identificar padrões comuns, enquanto se mantém sensível às particularidades individuais.

Yin (2001) argumenta que o estudo de caso se distingue pela análise detalhada e rigorosa dos eventos ou fenômenos investigados, propiciando uma compreensão abrangente e minuciosa da realidade e das questões em pauta. A observação, segundo Marconi e Lakatos (2003), desempenha um papel fundamental na validação de teorias e discursos por meio da prática, sendo amplamente utilizada na coleta de dados para pesquisas, permitindo a observação direta dos eventos e das interações entre eles.

De acordo com Gil (1999), a pesquisa experimental é considerada um paradigma exemplar na pesquisa científica, envolvendo a definição de um objeto de estudo e a seleção de variáveis que possam influenciá-lo, além da formulação de normas de controle e observação dos efeitos das variáveis sobre o objeto.

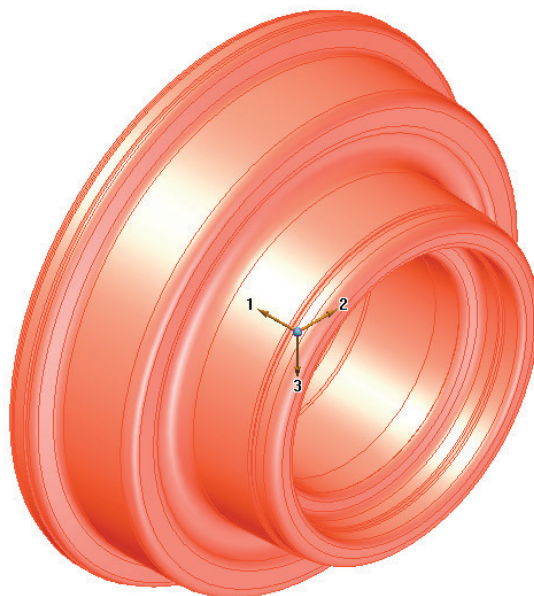
Esse tipo de investigação envolve a manipulação deliberada de aspectos da realidade, visando fornecer evidências sobre relações de causa e efeito. Mattar (2001) afirma que a causalidade pode ser inferida quando se observa variação concomitante entre duas ou mais variáveis, uma ordem temporal correta das variáveis e a eliminação de outros fatores causais potenciais

3.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo caracteriza a análise do *setup* de uma linha de produção de flanges forjadas (Figura 2), fabricadas em aço SAE 15B30. Estes flanges encontram ampla aplicação em roletes de tratores de esteira e escavadeiras, componentes críticos para o funcionamento destes equipamentos pesados. A seleção do aço SAE 15B30, em conjunto com o processo de forjamento, confere à peça as propriedades mecânicas necessárias para resistir às elevadas solicitações e condições operacionais adversas inerentes à aplicação em equipamentos de construção pesada. A análise do processo visa avaliar as características microestruturais e mecânicas do produto final, assegurando a conformidade com os requisitos de desempenho.

Fazem parte desta linha de produção três máquinas. A primeira, que inicia o processo, é um forno de indução para aquecimento do material a ser forjado; a segunda e principal máquina é o foco da pesquisa, uma prensa excêntrica de 4 kton de força, que é onde o material toma a forma de uma peça; e a terceira máquina da linha é uma prensa de 2,5 kton de força para rebarbação das peças, que é a retirada do excesso de material das peças. Todo esse processo é realizado com as peças entre 900 e 1000 °C.

Figura 2
Flange



Fonte: O autor (2024)

3.2.1 Material e dimensões do flange

O material utilizado na fabricação do flange analisado é o aço SAE 15B30, uma liga de aço-boro de média resistência amplamente utilizada na indústria metalomecânica para aplicações que exigem alta resistência ao desgaste e à fadiga mecânica. O SAE 15B30 apresenta as seguintes características:

- Composição química típica:

Carbono (C): 0,28% – 0,34%

Manganês (Mn): 0,75% – 1,00%

Boro (B): 0,0005% – 0,003%

Fósforo (P) e Enxofre (S): $\leq 0,035\%$

- Tratamento térmico aplicado: Após o forjamento, o flange passa por um tratamento térmico de têmpera e revenido, conferindo uma dureza final entre 28 e 34 HRC e uma resistência à tração entre 850 e 1000 MPa, garantindo elevada resistência mecânica e à abrasão.
- Propriedades mecânicas após tratamento térmico:

Resistência à tração: 850 – 1000 MPa

Limite de escoamento: 700 – 850 MPa

Alongamento: $\geq 12\%$

Dureza: 28 – 34 HRC

A escolha do SAE 15B30 se deve ao fato de esse aço possuir excelente resposta ao tratamento térmico, além de apresentar boa usinabilidade e resistência ao impacto, características essenciais para peças sujeitas a altos esforços e ciclos de carga repetitivos.

Dimensões e Peso do Flange

Os flanges analisados no estudo apresentam variações dimensionais dependendo da aplicação e do tipo de máquina em que serão utilizados. Dentro da amostra estudada, foram identificadas as seguintes dimensões mínimas e máximas:

- Dimensão mínima:

Diâmetro externo: 164 mm

Diâmetro interno: 54 mm

Altura total: 94,6 mm

Peso mínimo: 6,9 kg

- Dimensão máxima:

Diâmetro externo: 244 mm

Diâmetro interno: 108 mm

Altura total: 124,3 mm

Peso máximo: 22,800 kg

Os flanges possuem geometrias variadas, mas todas seguem padrões específicos de concentricidade e acabamento superficial, fundamentais para garantir um encaixe preciso e seguro nos sistemas de transmissão mecânica.

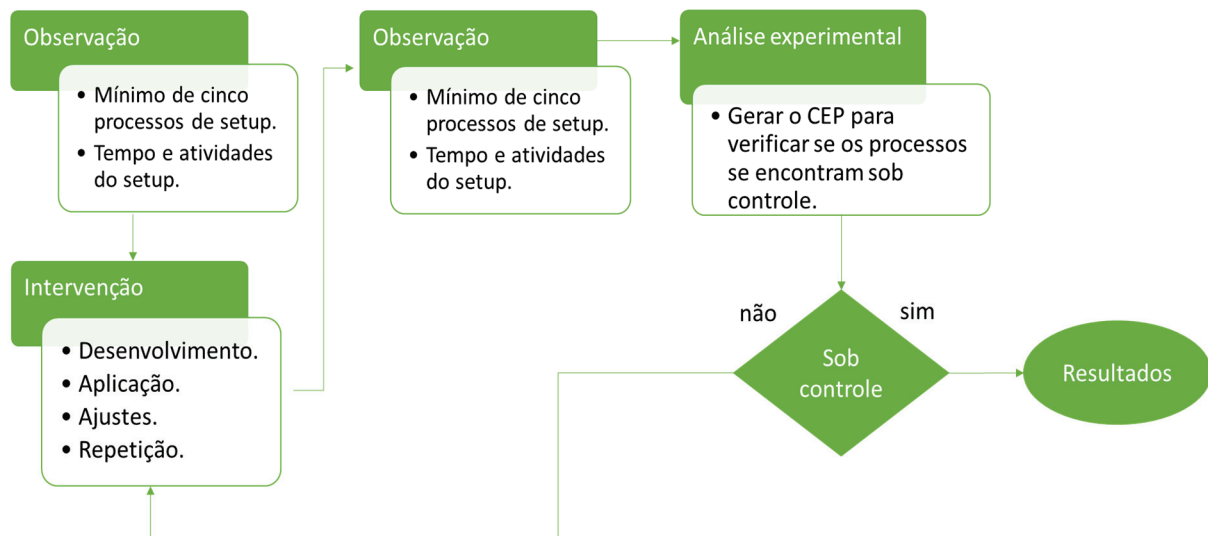
3.2.2 Descrição do local e população em estudo

A indústria metalomecânica pesquisada encontra-se no polo industrial da Serra Catarinense e é responsável pela produção e fornecimento de material rodante para máquinas de trabalho nos segmentos da agricultura, construção civil, mineração e florestal.

3.2.3 Etapas da pesquisa

A Figura 3 demonstra as etapas da pesquisa aplicadas na pesquisa.

Figura 3
Etapas do estudo



Fonte: O autor (2024)

A Figura 3 demonstra as etapas do estudo realizado, organizadas de forma sequencial. Essas etapas incluem a análise da situação atual, a implementação da filosofia *Lean Manufacturing* e da ferramenta *SMED* e a avaliação do processo após as intervenções. A figura serve para ilustrar como o estudo foi estruturado em fases, mostrando desde a identificação de problemas até a aplicação de melhorias e a análise dos resultados obtidos. Ela reflete a abordagem metodológica do estudo, com foco na organização e no progresso sistemático das ações realizadas.

3.2.3.1 Análise da situação atual

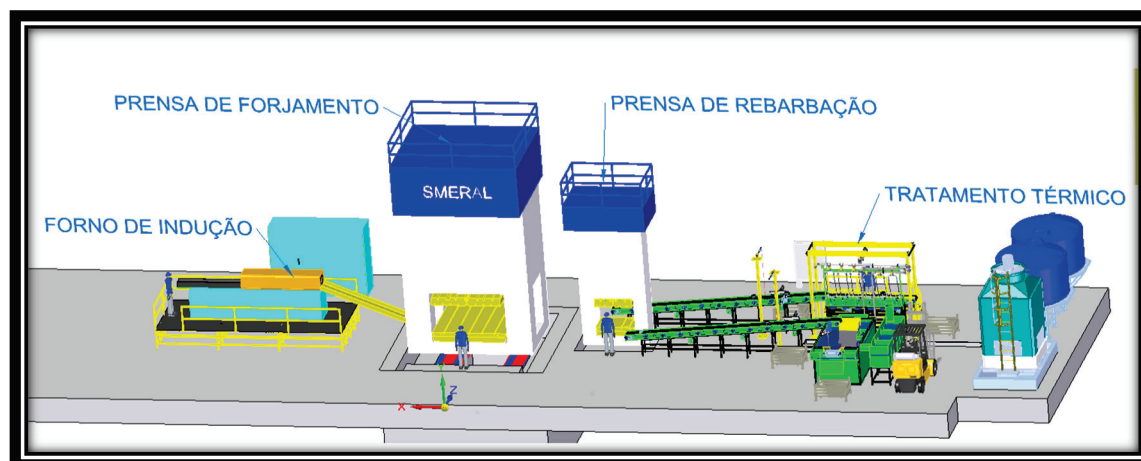
Este estudo se baseou nos princípios do *Lean Manufacturing* e *SMED*, que aplicadas em conjunto possibilitou a análise para intervenção por meio de dois métodos, afim de se reduzir o tempo de *setup* do processo de forjamento de flanges na prensa *Smeral 4000ton*.

A análise segue a metodologia baseada no *Lean Manufacturing* com foco na identificação e eliminação de desperdícios. A Figura 4 mostra o *layout* parcial do setor de forjaria da empresa e apresenta o processo em que o estudo foi realizado. Anteriores a este processo, há as etapas de separação e corte da matéria-prima, que não fizeram parte da análise do trabalho, não impactaram e não se tornaram relevantes para este estudo.

O processo inicia pelo aquecimento dos *blanks* no forno de indução contínuo com capacidade produtiva de 1,6 ton de aço/hora. A prensa de forjamento modelo *Smeral 4K* possui 4000 ton de força e possui capacidade produtiva de 100 ciclos/h.

A prensa de rebarbação modelo e a estação de tratamento térmico com seis chuveiros rotativos têm a mesma capacidade de produção da prensa *Smeral*, pois são processos dependentes da etapa de forjamento.

Figura 4
Layout do setor de forjaria



Fonte: O autor (2024)

Cinco *setups* da prensa *Smeral* 4000ton foram realizados entre fevereiro e agosto de 2024, utilizando-se a tabela de coleta de dados descrita no item 3.3. O processo de observação abrangeu o período desde a conclusão do forjamento do lote anterior até a produção do primeiro flange, conforme as especificações de qualidade.

A análise dos cinco tempos de *setup* empregou ferramentas estatísticas para o cálculo da média e do desvio padrão. O início da observação era demarcado pela forja da última peça, seguida do acionamento do botão de emergência. Posteriormente, o operador removia uma grade de apoio do tenaz, deslocava-se até a sala de chaves (localizada distante da máquina) para obter a chave necessária para desapertar as unhas de fixação da matriz inferior, removendo-as individualmente e transportando-as para a bancada. Este processo era repetido para a matriz superior, após o destravamento do botão de emergência e o abaixamento da mesa superior até a proximidade das matrizes.

Até esta etapa do *setup*, as atividades dos operadores, embora com tempos de execução variáveis, apresentavam similaridade. No entanto, a partir da solicitação da empilhadeira para remoção das matrizes, a padronização cessava. A limpeza das mesas, tanto superior quanto inferior, era inconsistente. As matrizes destinadas ao novo lote não possuíam um local designado para aguardar a empilhadeira; a solicitação de auxílio era arbitrária, resultando em tempo ocioso para a empilhadeira. A busca pela concentricidade das matrizes envolvia múltiplos ajustes individuais e

demorados, com repetidas solicitações à empilhadeira para remoção e realocação, até a produção da primeira peça conforme especificações, liberando o processo e concluindo o *setup*.

Descrição detalhada por atividade analisando em relação aos 5 *setups* observados:

Tabela 1: Observação antes da intervenção

Ordem	Atividade	Descrição
Atividade 1	Apertar botão de emergência	A variação é relacionada ao operador da prensa, pois no momento que a última peça do lote atual é forjada, o operador já deve apertar o botão de emergência para a prensa não ficar mais energizada
Atividade 2	Tirar grade de apoio	Atividade também relacionada a destreza e agilidade do operador de retirar a grade da prensa, que está apenas apoiada sem a necessidade de ferramentas para auxiliar nessa atividade
Atividade 3	Deslocamento para buscar chave para soltar parafusos	Tempo de caminhada até a sala de ferramentas do setor de forjaria e retorno; também é uma atividade que depende da agilidade do operador
Atividade 4:	Soltar parafusos das unhas frontais da matriz inferior	A variação de tempo é baixa devido ser uma atividade apenas de frouxar os parafusos; o elevado tempo se deve aos parafusos serem muito bem apertados e depois de sofrerem o esforço durante algumas horas de produção, ficam mais difíceis de serem soltos
Atividade 5	Tirar as unhas uma de cada vez e levar até a mesa bancada próxima a prensa	São levadas uma de cada vez devido ao peso para não ter risco de acidente
Atividade 6	Soltar parafusos das unhas traseiras da matriz inferior	O elevado tempo se deve ao local em que os parafusos ficam. São de difícil acesso ao operador, requerendo uma chave e aos parafusos são muito bem apertados; depois de sofrerem o esforço durante algumas horas de produção, ficam mais difíceis de serem soltos
Atividade 7	Tirar as unhas uma de cada vez e levar até a mesa bancada próxima a prensa	São levadas uma de cada vez devido ao peso para não ter riscos de acidente
Atividade 8	Destruar o botão de emergência e baixar mesa até a matriz superior até ficar 10 mm da matriz inferior e apertar novamente o botão	É uma atividade que ao ser observada é bem simples, mas totalmente dependente do operador
Atividade 9	Soltar parafusos das unhas frontais da matriz superior	Posição não ergonômica do operador, que faz com que ele se canse e precise parar brevemente de soltar os parafusos algumas vezes para se posicionar novamente e continuar a atividade, além dos parafusos estarem com muito apertados
Atividade 10	Tirar as unhas uma de cada vez e levar até a mesa bancada próxima a prensa	São levadas uma de cada vez devido ao peso para não ter riscos de acidente

Atividade 11	Soltar parafusos das unhas traseiras da matriz superior	O elevado tempo se deve a posição nada ergonômica que o operador precisa ficar para soltar os parafusos, que ficam acima dele e aos parafusos serem muito bem apertados e depois de sofrerem o esforço durante algumas horas de produção, ficam mais difíceis de serem soltos
Atividade 12	Tirar as unhas, uma de cada vez e levar até a mesa bancada próxima a prensa	São levadas uma de cada vez devido ao peso para não ter riscos de acidente
Atividade 13	Solicitar e aguardar a empilhadeira	É necessário para retirar as matrizes de cima da mesa da prensa para continuar as atividades de <i>setup</i> . Durante a observação, foi constatado que os operadores sempre solicitam a empilhadeira após a realização das atividades, sendo que poderiam solicitar a empilhadeira minutos antes de finalizar a tarefa, para não esperarem tanto tempo
Atividade 14	Empilhadeira retira as matrizes	Atividade que depende da agilidade do operador de empilhadeira
Atividades 15, 16 e 17	Limpeza da mesa inferior, limpeza da mesa superior e novamente limpeza da mesa inferior	As variações de tempo são devido aos diferentes métodos de limpeza de cada operador e a quantidade de sujeira acumulada do forjamento. Durante a observação, ficou a dúvida de o porquê limpar duas vezes a mesa inferior. O operador limpava a inferior para não se sujar ao subir na mesa e limpar a superior, que durante a limpeza toda a sujeira caía novamente na mesa inferior e, por isso, era novamente limpa. Pode ser resolvida essa duplicação de atividade forrando a mesa inferior para operador subir e não se sujar e então eliminar a limpeza inicial da mesa inferior
Atividade 18	Chegada dos <i>blanks</i> (matéria-prima) no início da linha	
Atividade 19	Chegada da empilhadeira com as matrizes para fabricar os flanges	
Atividade 20	Erguer a matriz superior com a empilhadeira e prender a matriz com as "unhas"	A empilhadeira facilita o trabalho do operador, principalmente por ser uma fixação de baixo para cima, devido a ser a superior, porém ainda é uma atividade com tempo elevado
Atividade 21	Erguer a matriz inferior com a empilhadeira e prender a matriz com as "unhas"	A empilhadeira facilita o trabalho do operador, porém ainda é uma atividade com tempo elevado
Atividade 22	Ajustar a parte superior (primeira ocorrência)	Ajuste ao centro da mesa da prensa
Atividade 23	Ajustar da parte inferior (primeira ocorrência)	Ajuste ao centro da mesa da prensa e concêntrica com a matriz superior
Atividade 24	Ajustar a parte superior (segunda ocorrência)	Ajuste devido a concentricidade ter ficado fora dos limites do primeiro ajuste

Atividade 25	Ajustar a parte inferior (segunda ocorrência)	Ajuste devido a concentricidade ter ficado fora dos limites do primeiro ajuste
Atividade 26		Solicitar a empilhadeira para soltar uma "Unha" e trocar essa "Unha" da Matriz Superior
Atividade 27		Aguardar a Empilhadeira
Atividade 28		Chegada da empilhadeira fazer o serviço
Atividades 26, 27 e 28		ocorreram apenas na observação do <i>setup</i> 3, devido a rosca da unha ter espanado
Atividade 29	Ajustar a parte inferior (terceira ocorrência)	Ajuste devido a concentricidade ter ficado fora dos limites do primeiro ajuste
Atividade 30	Ajustar a parte superior (terceira ocorrência)	Ajuste devido a concentricidade ter ficado fora dos limites do primeiro ajuste. Apenas o <i>setup</i> 2 não necessitou da terceira ocorrência de ajustes
Atividade 31	Aquecimento das Matrizes por Indução	Atividade padrão que necessita em todas as operações de <i>setup</i>
Atividade 32	Teste para Liberação	Forjamento da primeira peça, rebarba, tempera e libra para a qualidade realizar as medições dimensionais
Atividade 33		Aguarda liberação
Atividade 34:	Ajustar a parte superior (quarta ocorrência)	Setor de qualidade solicita ajustes de concentricidade
Atividade 35	Ajustar a parte inferior (quarta ocorrência)	Setor de qualidade solicita ajustes de concentricidade
Atividade 36	Teste para Liberação (segunda ocorrência)	Forjamento da primeira peça ajustada, rebarba, tempera e libra para o setor de qualidade realizar as medições dimensionais
Atividade 37		Liberação visual
Atividade 38		Início da produção

A Tabela 1 detalha as atividades realizadas durante o processo de *setup* da prensa Smeral 4000 ton, evidenciando as etapas sequenciais e as variações de tempo observadas. Cada atividade foi analisada em relação a sua execução, tempo necessário e possíveis limitações, permitindo identificar gargalos e oportunidades de melhoria. As informações apresentadas na tabela oferecem um panorama claro para o planejamento e a implementação de melhorias, como a eliminação de etapas redundantes e a otimização das atividades internas e externas de *setup*.

3.2.3.2 Implementação da filosofia *LEAN MANUFACTURING* e da ferramenta *SMED*

A implementação do *Lean Manufacturing* e do *Single Minute Exchange of Die (SMED)* na linha de produção de peças forjadas inicia com:

- Mapeamento do Fluxo de Valor: mapeamento de todas as atividades do processo de *setup* para se identificar pontos de desperdício e oportunidades de melhoria. Observação do processo atual;

- Implementação de Programa 5S: Organização, limpeza e padronização do ambiente de trabalho, promovendo um local mais eficiente e seguro. Sinalizar e marcar a posição dos equipamentos, elaborar *layout* do local de trabalho com a posição correta de todos os equipamentos, matéria-prima e outros itens;
- Padronização e Melhoria Contínua: Estabelecer procedimentos padronizados e promover uma cultura de melhoria contínua para adaptar e refinar os processos com base na experiência prática. Elaboração de um *check-list* para liberar as matrizes de forjamento antes de serem montadas na prensa e elaborar também um procedimento definindo uma sequência de etapas durante o *setup* para padronizar a operação;
- Ferramentas e Equipamentos: Projetar e utilizar ferramentas e equipamentos que reduzam o tempo e o esforço necessários para realizar as atividades de *setup*. Projeto de uma bancada de ferramentas ao lado da prensa *Smeral* para evitar deslocamentos para buscar ferramentas, eliminando assim movimentações desnecessárias e riscos de se esquecer alguma ferramenta e a elaboração de um procedimento padrão de *setup* para flanges a serem forjados na prensa *Smeral*, diferenciando atividades de *setup* interno e *setup* externo com seus respectivos *check-lists* de atividades. Projeto do estojo para as matrizes de forjamento para que a fixação e alinhamento das matrizes possam passar a ser realizados de forma externa.

Ao se aplicar os princípios de *Lean Manufacturing* e *SMED*, o objetivo foi criar um processo de *setup* mais ágil e seguro, reduzindo o tempo total e aumentando a eficiência, resultando em menos tempo ocioso e maior produtividade.

3.2.3.3 Avaliação do processo pós intervenção

Após a intervenção utilizando os novos procedimentos de *setups*, a bancada de ferramentas e o estojo para matrizes no processo de forjamento, foram realizadas outras 5 medidas de tempo de *setup*, por meio da observação e da análise de tempos e movimentos. Também foram aplicadas ferramentas estatísticas para cálculo da média e desvio padrão entre as amostras, para se realizar a comparação de resultados com as outras 5 medidas antes da intervenção.

3.3 COLETA DE DADOS

O procedimento de coleta de dados foi dividido em três etapas:

Etapa 1: Análise dos dados iniciais e a observação do processo de *setup* da linha de forjaria, descrevendo-se cada atividade realizada e cronometrando também o tempo que cada

atividade leva para ser realizada, a fim de se identificar possíveis desperdícios e oportunidades de melhoria;

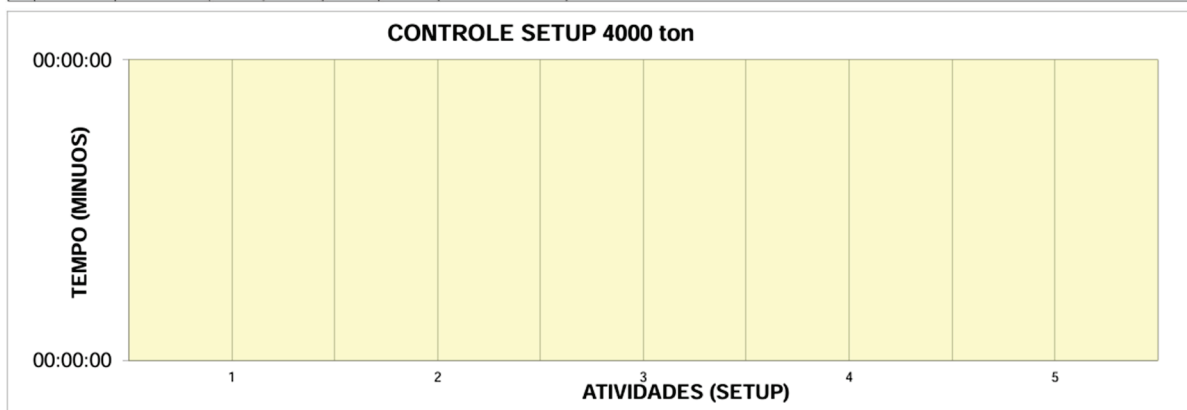
Etapa 2: Após a análise inicial, a observação e a descrição do processo, se fez a intervenção no processo de *setup*, aplicando-se os princípios de *Lean Manufacturing* e *SMED* e possíveis melhorias observadas na Etapa 2; após a intervenção, o processo foi novamente observado e as atividades cronometradas;

Etapa 3: A última etapa consistiu em se fazer a análise do processo antes e pós-intervenção para se verificar os ganhos alcançados.

Os dados das coletas antes e após a intervenção foram inseridos na Tabela 2.

Tabela 2
Controle das observações de *setup*

PPGSP		CONTROLE DE SETUP						
#	Troca de produtos		N° FUNC.	Data	Hora		Tempo Total (min)	Observações / Ocorrências
	de	para			inicio	fim		
1								
2								
3								
4								
5								



MELHOR TEMPO	#	TEMPO		
FLANGE			META:	FLANGE:

Fonte: O autor (2024)

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Os dados coletados foram inseridos em planilhas de Excel, para melhor visualização por meio gráfico, para se efetuar uma análise de como era o processo anterior e como ficou após a aplicação das metodologias empregadas. A análise foi realizada por meio de:

- *Software EXCEL* para análise dos dados estatísticos (CEP);
- Dados de tempo de *setup* e produção;
- Dados anteriores e posteriores à intervenção.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Neste capítulo, os resultados referentes às etapas de avaliação, intervenção e comparação são apresentados.

4.1. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

Nesta etapa, os dados das cinco amostras coletadas durante a observação da etapa de avaliação sem intervenção são mostrados.

Tabela 3
Tempos de observação da situação de *setup* atual

Atividades	setup 1	setup 2	setup 3	setup 4	setup 5	média	desvio padrão
apertar botão de emergencia	0,083	1,10	0,00	0,050	0,310	0,083	0,420
tirar grade de apoio das "tenaz"	0,500	0,97	0,08	0,383	0,700	0,500	0,298
Vai ate a bancada pegar chave	1,000	0,17	0,03	1,210	0,000	0,166	0,532
soltar 3 parafusos das " unhas " frontais matriz inferior	8,660	9,46	9,35	8,300	9,860	9,350	0,573
tirar as " Cunhas " uma de cada vez e leva até a bancada.	3,000	2,08	2,08	1,800	1,260	2,080	0,564
solta 3 parafusos das " unhas " traseiras matriz inferior	12,000	11,80	11,30	11,300	12,060	11,800	0,334
tirar as " Cunhas " uma de cada vez e leva até a bancada.	7,330	7,58	6,34	7,160	7,350	7,330	0,434
destravar botão de emergencia e baixar mesa até a matriz superior até ficar 10mm da matriz inferior	2,160	3,43	3,76	1,820	3,150	3,150	0,756
soltar 3 parafusos das " unhas " frontais matriz superior	19,500	20,08	18,58	20,400	18,710	19,500	0,722
tirar as " Cunhas " uma de cada vez e leva até a bancada.	5,330	6,50	5,36	6,130	6,110	6,110	0,472
soltar 3 parafusos das " unhas " traseiras matriz superior	22,000	22,53	21,45	1,560	22,400	22,000	8,384
tirar as " Cunhas " uma de cada vez e leva até a bancada.	11,660	10,41	11,58	13,080	10,160	11,580	1,046
solicita e aguarda empilhadeira	16,500	16,10	15,30	16,380	23,460	16,380	3,023
empilhadeira retira matrizes	5,000	3,93	4,90	5,050	7,950	5,000	1,364
limpar mesa inferior	5,000	4,45	6,25	5,280	6,800	5,280	0,860
limpar mesa superior	13,000	13,05	13,08	12,450	17,350	13,050	1,822
limpar mesa inferior	2,000	4,46	2,26	2,000	1,200	2,000	1,109
buscar ordem de fabricação da proxima peça	0,000	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
voltou com o.f. e os desenhos da proxima peça a ser fabricada	9,160	9,35	9,13	9,150	16,060	9,160	2,806
os blanks (matéria prima) chegaram no inicio da linha	0,000	0,00	0,61	0,000	0,000	0,000	0,249
empilhadeira chegou com as matrizes para fabricar os flanges	0,000	0,00	0,51	0,000	0,430	0,000	0,244
ergue a matriz superior com a empilhadeira, e prende a matriz com as "unhas"	35,330	34,73	35,33	34,700	35,360	35,330	0,322
ergue a matriz inferior com a empilhadeira, e prende a matriz com as "Cunhas"	20,000	20,01	21,11	20,600	21,150	20,600	0,504
começam os ajustes para centralizar uma matriz com a outra	0,000	0,77	1,85	1,000	1,800	1,000	0,691
ajuste superior	24,000	20,40	30,98	13,080	32,000	24,000	6,998
ajuste inferior	6,500	4,53	6,23	6,150	5,900	6,150	0,703
ajuste superior	20,000	19,73	18,23	19,500	21,550	19,730	1,065
ajuste inferior	14,000	15,21	14,25	14,060	13,950	14,060	0,479
solicita empilhadeira para soltar uma "Cunha" e trocar essa "Cunha da matiz superior	0,000	0,00	0,55	0,000	0,000	0,000	0,225
aguardando empilhadeira	5,000	4,61	3,40	4,920	3,710	4,610	0,662
empilhadeira chega e faz o serviço	15,000	13,71	14,11	13,180	15,800	14,110	0,939
ajuste inferior	5,000	4,95	5,40	5,180	4,350	5,000	0,351
ajuste superior	10,000	9,41	10,06	12,000	10,400	10,060	0,883
aquece as matrizes por indução	40,000	41,50	39,68	38,680	40,680	40,000	0,950
teste para liberação	20,000	18,20	19,50	20,130	20,310	20,000	0,778
aguardando liberação	10,000	11,65	9,10	10,310	8,310	10,000	1,133
ajusta superior	10,000	9,08	10,60	9,930	9,100	9,930	0,586
teste para liberação	3,000	1,75	4,36	2,750	4,230	3,000	0,979
libera visualmente	1,000	0,72	0,81	3,600	1,430	1,000	1,093
produz	0,000	0,00	0,00	0,680	0,430	0,000	0,297
	382,713	378,394	387,50	353,95	415,78	382,713	19,791

Fonte: O autor (2024)

As atividades descritas no processo de *setup* da prensa podem ser divididas em grupos com base nas características de cada etapa. Esses grupos podem ser definidos de acordo com o tipo de ação (mecânica, de movimentação, de ajustes, de suporte) e com os fatores de variabilidade entre os *setups* (variabilidade humana, tempo de espera, necessidade de ajustes adicionais, dentre outros). A classificação em grupos seguiu a lógica operacional do *setup*, considerando a sequência real das atividades e os desafios específicos de cada etapa. Isso garantiu que as melhorias fossem implementadas de forma segmentada e controlada, permitindo comparações antes e depois da intervenção.

Os nove grupos de atividades foram definidos com base na sequência lógica do *setup* e na identificação de pontos críticos do processo. Cada grupo representa um conjunto de tarefas que compartilham características semelhantes, tornando a análise mais eficiente. A seguir, as atividades são detalhadas e agrupadas:

Grupo 1: Ações de Segurança e Início do Setup

Atividade 1: Apertar botão de emergência

A variação dessa atividade depende exclusivamente do operador da prensa, pois a ação deve ser realizada imediatamente após a finalização do último forjamento para evitar que a prensa continue energizada, aumentando a segurança do operador.

Grupo 2: Ações Relacionadas à Preparação Mecânica Inicial

Atividade 2: Tirar a grade de apoio

Uma ação relativamente simples e rápida, relacionada à agilidade do operador. A grade não precisa de ferramentas para ser removida, apenas de destreza.

Atividade 3: Deslocamento para buscar chave para soltar parafusos

Aqui, o tempo gasto é referente do trajeto entre a prensa e a sala de ferramentas. Esse deslocamento pode variar conforme a localização da chave e a agilidade do operador.

Atividades 4, 6, 9 e 11: Soltar parafusos das unhas das matrizes (frontal/traseira, inferior/superior)
Soltar os parafusos, especialmente devido ao seu aperto elevado após horas de operação, é uma tarefa com variações pequenas, mas que se torna mais lenta devido à falta de ergonomia, devido à localização dos parafusos.

Grupo 3: Movimentação e Transporte de Peças Pesadas

Atividades 5, 7, 10 e 12: Retirar unhas e levar até a bancada

Esse grupo de atividades envolve a retirada de peças pesadas, uma de cada vez, para evitar riscos de acidentes. A agilidade do operador influencia, mas o peso das peças e a segurança exigida tornam a tarefa demorada.

Atividade 13: Solicitar e aguardar a empilhadeira

Um dos pontos de variação significativa. A empilhadeira é solicitada apenas após a conclusão de atividades, e não antes, o que gera tempo ocioso enquanto se espera pela sua chegada.

Atividade 14: Empilhadeira retira as matrizes

Aqui, a eficiência depende tanto do operador de empilhadeira quanto do operador da prensa, que precisa colaborar para a remoção das matrizes.

Grupo 4: Limpeza e Preparação das Mesas da Prensa

Atividades 15, 16 e 17: Limpeza da mesa inferior e superior

Essas atividades apresentam variações dependendo do executor, pois cada operador utiliza métodos diferentes e enfrenta diferentes quantidades de sujeira. Há também uma duplicação de esforço na limpeza da mesa inferior, que poderia ser evitada com uma abordagem padronizada de limpeza.

Grupo 5: Preparação das Novas Matrizes

Atividades 18 e 19: Chegada dos *blanks* e das novas matrizes

Essas atividades apresentam poucas variações.

Atividades 20 e 21: Elevação e fixação das matrizes com a empilhadeira

Essas atividades envolvem a colaboração da empilhadeira e a habilidade do operador para fixar as matrizes, mas a atividade ainda é lenta devido à sua dificuldade e o risco de acidentes.

Grupo 6: Ajustes das Matrizes

Atividades 22 a 25: Ajustes das matrizes superiores e inferiores (primeira e segunda ocorrências)

A primeira e segunda ocorrências de ajustes são comuns e envolvem centralizar as matrizes na mesa da prensa. Esses ajustes são necessários para garantir a concentricidade das peças forjadas.

Atividades 29 e 30: Ajustes das matrizes (terceira ocorrência)

Uma terceira rodada de ajustes pode ser necessária caso os primeiros ajustes não atinjam a concentricidade exigida, aumentando o tempo de *setup*.

Grupo 7: Atividades de Exceção

Atividades 26, 27 e 28: Solicitar, aguardar e usar a empilhadeira para trocar a "cunha" da matriz superior

Essas atividades só ocorreram durante o *setup* 3 devido a um problema na rosca de uma das "cunhas". São atividades que não fazem parte do processo, mas podem acontecer.

Grupo 8: Aquecimento, Testes e Liberação de Qualidade

Atividade 31: Aquecimento das Matrizes por Indução

Uma atividade padrão, necessária em todas as operações de *setup*, com pouca variação.

Atividades 32 e 36: Teste para liberação

O primeiro teste de forja é feito após os ajustes iniciais. Caso a peça esteja fora do padrão, um segundo teste é realizado após novos ajustes.

Atividades 33, 34 e 35: Aguardar e realizar novos ajustes de concentricidade

Após o primeiro teste, pode ser necessário realizar ajustes solicitados pela equipe de qualidade, o que gera variações no tempo de *setup*.

Grupo 9: Finalização do Setup

Atividades 37 e 38: Liberação visual e produção

Após a liberação visual da peça forjada, o *setup* é concluído, e a produção é retomada.

Durante as observações, foi possível perceber que a dependência do fator humano na operação e a desorganização e falta de padrão para realizar o processo de *setup* influenciam negativamente nos tempos medidos. Falta de ferramentas próximas ao equipamento para realizar os serviços, repetições de atividades, deslocamento para buscar e levar ferramentas ou informações, operadores trabalhando de forma desconexa devido à falta de um padrão pré-estabelecido de *setup*, dificuldade de manusear as matrizes devido a temperatura elevada e peso, *setup* realizado forma interna sem adiantamentos externos.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS METODOLOGIAS LEAN E SMED

A implementação do *Lean Manufacturing* e do *Single Minute Exchange of Die (SMED)* na linha de produção de peças forjadas trouxe mudanças significativas em diversas áreas do processo de *setup*. A seguir, estão descritas as melhorias realizadas:

1. Mapeamento do Fluxo de Valor

Inicialmente, foi realizado o Mapeamento do Fluxo de Valor para se entender detalhadamente cada etapa do processo de *setup* da prensa. Todas as atividades, desde o apertar do botão de emergência até a liberação final para produção, foram mapeadas. Esse processo permitiu a identificação de pontos de desperdício, como deslocamentos desnecessários para se buscar ferramentas, tempos de espera pela empilhadeira e duplicação de atividades de limpeza. A partir dessas observações, oportunidades de melhoria foram detectadas e ações foram definidas para se eliminar ou reduzir os tempos perdidos.

2. Organização, Limpeza e Padronização (5S)

Com base no método 5S, o ambiente de trabalho foi organizado para se otimizar o fluxo de trabalho e garantir a segurança dos operadores. As seguintes ações foram implementadas:

- a) sinalização e marcação das posições de todos os equipamentos, ferramentas e materiais, com o objetivo de se garantir que tudo estivesse sempre no lugar correto e de fácil acesso;
- b) limpeza regular foi incorporada à rotina diária, o que assegurou um ambiente livre de sujeira acumulada.

3. Padronização e Melhoria Contínua

A padronização do processo foi um dos maiores avanços após a implementação dos princípios do *Lean* e do *SMED*. As seguintes ações foram tomadas para garantir consistência e eficiência:

- a) foi criado um *check-list* detalhado, conforme Tabela 4, para se garantir que todas as matrizes fossem inspecionadas e liberadas antes de serem montadas na prensa, reduzindo retrabalhos e falhas durante a produção;

Tabela 4
Procedimento de *check list* do ferramental

	CHECK LIST FERRAMENTAL	PRODUTO	
		Status	
SAÍDA			
Matrize superior		<input type="checkbox"/> ok	<input type="checkbox"/> N.A
Matrizes inferior		<input type="checkbox"/> ok	<input type="checkbox"/> N.A
Estojo		<input type="checkbox"/> ok	<input type="checkbox"/> N.A
RETORNO			
Matriz maracada com a quantidade de peçs produzidas		<input type="checkbox"/> ok	<input type="checkbox"/> N.A
Matrizes superior		<input type="checkbox"/> ok	<input type="checkbox"/> N.A
Matrizes inferior		<input type="checkbox"/> ok	<input type="checkbox"/> N.A
Estojo		<input type="checkbox"/> ok	<input type="checkbox"/> N.A

Fonte: O autor (2024)

b) um procedimento de *setup*, com acompanhamento realizado a partir da Tabela 5, e um procedimento de *pré-setup*, Tabela 6, foram desenvolvidos, distinguindo-se claramente entre atividades de *setup* interno (que precisam ser feitas com a máquina parada) e *setup* externo (que podem ser feitos enquanto a máquina ainda está operando). Esse procedimento inclui um *check-list* específico para cada tipo de atividade, garantindo que todas as etapas fossem realizadas na ordem correta e no tempo adequado;

Tabela 5
Procedimento de *check list* do *pré-setup*

CHECK LIST PRÉ-SETUP			
	Status		
Ordem de serviço	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A
Desenhos / Folha de liberação	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A
Empilhadeira	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A
P4000			
Tenaz apropriada para a próxima peça	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A
Parâmetros de regulação definido	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A
Kit de limpeza	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A
Chaves e marreta para soltar as cunhas.	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A
Mesa de controle com equipamentos de medição	<input type="checkbox"/>	ok	<input type="checkbox"/> N.A

Fonte: O autor (2024)

4. Ferramentas e Equipamentos Otimizados

Uma série de melhorias nas ferramentas e equipamentos utilizados durante o *setup* foram implementadas, visando se reduzir o tempo e o esforço dos operadores:

a) foi projetada uma bancada de ferramentas (Figura 5) ao lado da prensa, eliminando-se a necessidade de deslocamentos até a sala de ferramentas. Isso eliminou movimentações desnecessárias, aumentou a segurança e reduziu o risco de esquecimento de ferramentas;

Tabela 6
Procedimento de *setup*

PROCEDIMENTO DE SET UP	
SET UP - FLANGE » FLANGE	
<p>1) Objetivo: Este documento tem a função de estabelecer as regras, critérios e sequencia operativa para o processo de SET UP de flange para flange.</p>	
<p>2) Lay - out: O lay-out abaixo define as posições ideais dos operadores no momento de partir o SET UP, as empilhadeiras também deverão estar posicionadas:</p>	
<p>3) Check List: 3.1 - Antes de iniciar qualquer SET UP, o líder deverá fazer a verificação das condições de todos os itens conforme definido no formulário "CHECK LIST SET UP EXTERNO FORJARIA" e o montador deverá fazer a verificação utilizando o formulário "CHECK LIST FERRAMENTAL".</p>	
<p>4) Início de SET UP (Última peça forjada): O Líder receberá o sinal do operador e iniciará o processo.</p>	
OPERADOR	
1	apertar botão de emergencia, remover tenaz e barra de apoio das tenaz.
2	Soltar parafusos superiores do estojo P4000
3	Soltar parafusos inferiores do estojo P4000
4	Limpar estojo com ar comprimido
5	Solicitar empilhadeira para retirar estojo. Retirar estojo e alocar ao lado da prensa.
6	Atividade simultanea: trocar as matrizes (externo a prensa) do estojo pelas novas
7	Colocar lona na mesa inferior e limpar a mesa superior
8	Retirar lona e limpar a mesa inferior
9	Atividade simultanea: Frouxar unhas superiores e inferiores e calça-las.
10	Atividade simultanea: Retirar matriz superior e inferior do estojo e levar a ferramentaria após a próxima atividade (empilhadeira)
11	Atividade simultanea: Alojãr novas matrizes inferior e superior no estojo (empilhadeira)
12	Atividade simultanea: Retirar calços e apertar unhas superiores e inferiores
13	Atividade simultanea: medição e teste de concentricidade das matrizes
14	Atividade simultanea: ajuste
15	Atividade simultanea: medição e teste de concentricidade das matrizes
16	Atividade simultanea: ok
17	Atividade simultanea: Com a empilhadeira alojãr estojo na prensa
18	Atividade simultanea: Apertar parafusos superiores do estojo P4000
19	Atividade simultanea: Apertar parafusos inferiores do estojo P4000
20	Atividade simultanea: Aquecer matrizes
21	Atividade simultanea: destrava botão de emergencia
22	Atividade simultanea: forjar
23	Atividade simultanea: Liberar enquanto forja.
24	Atividade simultanea: Liberado para produção
25	Colocar barra de apoio das tenaz.

Fonte: O autor (2024)

Figura 5
Bancada modular



Fonte: O autor (2024)

b) foi projetado um estojo para as matrizes, Figuras 6, 7, 8 e 9, permitindo que a fixação e o alinhamento das matrizes fossem feitos de forma externa à prensa. Isso reduziu significativamente o tempo de *setup*, pois as matrizes já chegavam à prensa pré-ajustadas, eliminando-se a necessidade de ajustes manuais demorados durante o *setup* interno.

O estojo foi fabricado em aço VMO (Vanádio-Molibdênio), um material de alta resistência mecânica e térmica, especialmente desenvolvido para suportar altas cargas, impactos repetitivos e temperaturas elevadas em aplicações industriais severas. Esse aço é amplamente utilizado em ferramentas de conformação, matrizes de forjamento e componentes estruturais sujeitos a desgaste intenso.

A escolha do VMO para o estojo foi baseada em suas propriedades superiores, garantindo durabilidade, resistência ao desgaste e mínima deformação ao longo do tempo. O aço VMO apresenta a seguinte composição química típica:

Carbono (C): 0,35 – 0,45%

Vanádio (V): 0,20 – 0,50%

Molibdênio (Mo): 0,20 – 0,40%

Manganês (Mn): 0,40 – 0,80%

Cromo (Cr): 0,80 – 1,20%

Silício (Si): 0,20 – 0,50%

O aço VMO foi selecionado devido à sua elevada dureza após tratamento térmico, além de sua capacidade de manter estabilidade dimensional sob carga, reduzindo deformações e garantindo precisão no posicionamento das matrizes ao longo do tempo.

Propriedades mecânicas típicas após tratamento térmico:

Resistência à tração: 980 – 1150 MPa

Limite de escoamento: 800 – 950 MPa

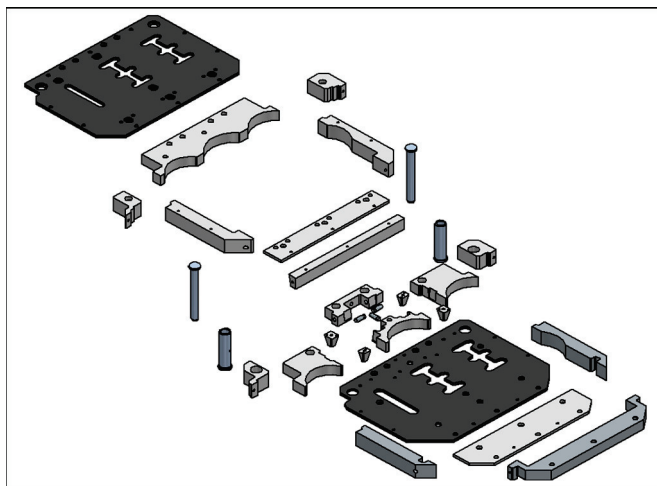
Alongamento: $\geq 10\%$

Dureza superficial após têmpera e revenido: 54 – 58 HRC

Tratamento térmico aplicado ao estojo: o estojo passou por um processo de têmpera seguida de revenimento, garantindo dureza elevada na superfície para resistir ao desgaste, enquanto o núcleo manteve tenacidade suficiente para absorver impactos sem risco de falha estrutural.

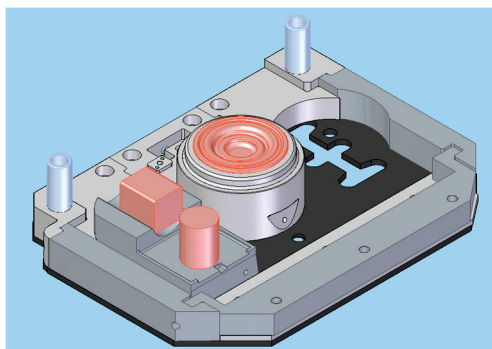
O estojo foi projetado para acomodar as matrizes de forma segura e precisa, garantindo que o alinhamento fosse realizado antes da instalação na prensa. Para isso, ele foi desenvolvido com guias de posicionamento e travas mecânicas, permitindo que a matriz fosse fixada externamente antes da movimentação até a máquina.

Figura 6
Explosão dos componentes do estojo



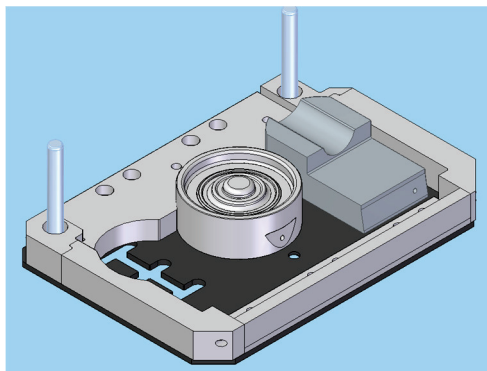
Fonte: o autor (2024)

Figura 7
Desenho do estojo inferior



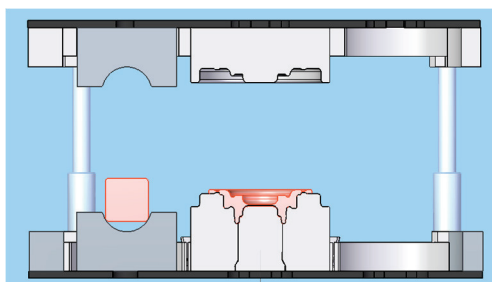
Fonte: o autor (2024)

Figura 8
Desenho do estojo superior



Fonte: o autor (2024)

Figura 9
Imagem do estojo montado



Fonte: o autor (2024)

A Figura 6 apresenta os componentes do estojo em vista “explodida”, mostrando como cada peça está organizada e como elas se conectam. Essa visualização detalha os elementos individuais do estojo e a sua função no processo de alinhamento e fixação das matrizes. A Figura 7 mostra o estojo

inferior e todos os seus componentes de fixação juntamente com as matrizes inferiores e as formas que o *blanck* toma durante o processo de conformação. A Figura 8 mostra o estojo superior e todos os seus componentes fixação juntamente com as matrizes superiores alojadas. A Figura 9 apresenta as matrizes posicionadas e alinhadas de forma concêntrica no estojo.

Nesta etapa, os dados das cinco amostras coletadas durante a observação da etapa de avaliação pós-intervenção são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7
 Tempos de observação da situação de *setup* pós-intervenção

atividades	setup 1	setup 2	setup 3	setup 4	setup 5	média	desvio padrão
apertar botão de emergencia, remover tenaz e barra de apoio das tenaz.	6,5	5,31	3,89	5,3	5,85	5,31	0,962574672
Soltar parafusos superiores do estojo P4000	15,28	14,07	13,99	13,01	15,9	14,07	1,142475383
Soltar parafusos inferiores do estojo P4000	11,37	7,48	6,51	12,18	11,23	11,23	2,567592257
Limpar estojo com ar comprimido	3,28	4,75	6,87	3,61	5,12	4,75	1,422051335
Solicitar empilhadeira para retirar estojo. Retirar estojo e alocar ao lado da prensa.	5,5	4,63	6,66	9,09	6,4	6,4	1,67562824
Atividade simultanea: trocar as matrizes (externo a prensa) do estojo pelas novas	0	0	0	0	0	0	0
Colocar lona na mesa inferior e limpar a mesa superior	13,57	10,11	15,44	15,82	16,88	15,44	2,661527757
Retirar lona e limpar a mesa inferior	5,41	10,31	7,61	5,23	7	7	2,057090178
Atividade simultanea: Frouxar unhas superiores e inferiores e calça-las.	4,59	16,5	8,78	7,73	8,06	8,06	4,420290714
Atividade simultanea: Retirar matriz superior e inferior do estojo e levar a ferramentaria após a próxima atividade (empilhadeira)	12,72	8,27	9,71	8,04	10,54	9,71	1,904266263
Atividade simultanea: Alojara novas matrizes inferior e superior no estojo (empilhadeira)	13,81	13,95	11,23	15,26	11,93	13,81	1,632905386
Atividade simultanea: Retirar calços e apertar unhas superiores e inferiores	18,63	8,02	11,85	13,05	13,96	13,05	3,830531295
Atividade simultanea: medição e teste de concentricidade das matrizes	4,94	15,18	20,22	12,6	16,43	15,18	5,699778943
Atividade simultanea: ajuste	6,74	16,82	4,78	9,7	12,2	9,7	4,725115872
Atividade simultanea: medição e teste de concentricidade das matrizes	10,29	14,49	7,03	6,31	5,23	7,03	3,761302966
Atividade simultanea: Teste ok	0	0	0	0	0	0	0
Atividade simultanea: Com a empilhadeira alajar estojo na prensa	10,78	19,53	14	23,3	12	14	5,314340975
Atividade simultanea: Apertar parafusos superiores do estojo P4000	9,46	7,62	9,25	10,47	15,28	9,46	2,904845951
Atividade simultanea: Apertar parafusos inferiores do estojo P4000	7,63	11,37	7,32	12,78	12,93	11,37	2,746148212
Atividade simultanea: Aquecer matrizes	40	40	40	40	40	40	0
Atividade simultanea: destrava botão de emergencia	0,17	0,23	1,4	0,5	0,9	0,5	0,513273806
Atividade simultanea: forjar	0	0	0	0	0	0	0
Atividade simultanea: Liberar enquanto forja.	0	0	0	0	0	0	0
Atividade simultanea: Liberado para produção	0	0	0	0	0	0	0
Colocar barra de apoio das tenaz.	2,5	1,6	3,8	2	3,22	2,5	0,893241289
	203,17	230,24	210,34	225,98	231,06	225,98	12,6429949

Fonte: o autor (2024)

4.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO PÓS INTERVENÇÃO

A avaliação dos efeitos da intervenção é apresentada a seguir:

Grupo 1: Ações de Segurança e Início do Setup

- Antes da Intervenção: cada operador lidava com a segurança de maneira individualizada e o processo de desativação da prensa variava. Algumas ações, como o acionamento do botão de emergência, dependiam de reações e decisões dos operadores, o que levava a inconsistências e riscos de segurança;

- Depois da Intervenção: a intervenção padronizou o processo de segurança, estabelecendo uma sequência obrigatória de ações antes do início do *setup*. Todos os operadores passaram a realizar as etapas na mesma ordem e com o mesmo rigor, incluindo o desligamento imediato e sistemático da prensa. Essa uniformidade reduziu o tempo de resposta dos operadores e diminuiu a variação, aumentando a segurança e garantindo que não houvesse interrupções ou atrasos imprevistos. A padronização gerou eficiência ao evitar erros humanos e a possibilidade de omissões;

- Atividades Eliminadas: dependência de decisão individual dos operadores para acionar o botão de emergência e iniciar o *setup*;

- Melhorias: padronização do processo de desligamento e início do *setup*, resultando em maior segurança e redução de variação de tempo entre operadores. Eliminação de inconsistências, garantindo que o *setup* comece de maneira uniforme, melhorando o controle e segurança do processo.

Grupo 2: Ações Relacionadas à Preparação Mecânica Inicial

- Antes da Intervenção: a preparação inicial exigia que os operadores se deslocassem até uma sala de ferramentas para buscar chaves e outros itens, gerando tempos ociosos e falta de continuidade. Além disso, como cada operador usava sua própria abordagem, havia um ritmo inconsistente no *setup*, com momentos de espera e variações no tempo de conclusão;

- Depois da Intervenção: uma bancada de ferramentas foi instalada próxima à prensa, equipada com todos os itens necessários para o *setup*. Isso reduziu significativamente o tempo perdido em deslocamentos e garantiu que todas as ferramentas estivessem organizadas e prontamente acessíveis. A utilização de um *check-list* de *pré-setup* reforçou a preparação antecipada, permitindo que cada operador começasse o *setup* com tudo em mãos;

- Atividades Eliminadas: deslocamentos frequentes dos operadores para buscar ferramentas na sala de armazenamento. Tempo de preparação irregular devido à falta de uma sequência de preparação das ferramentas;

- Melhorias: instalação de uma bancada de ferramentas próxima à prensa, eliminando-se o tempo de deslocamento e o risco de perda de ferramentas. Uso de um *check-list* para se garantir que tudo esteja pronto, proporcionando um início de *setup* mais rápido e sem interrupções.

Grupo 3: Movimentação e Transporte de Peças Pesadas

- Antes da Intervenção: a movimentação das matrizes e componentes pesados era desordenada, com pedidos de empilhadeira feitos a cada etapa, levando a tempo ocioso enquanto se aguardava a chegada do equipamento. Esse método fragmentado atrasava o processo e dificultava o fluxo contínuo do *setup*, além de sobrecarregar os operadores;

- Depois da Intervenção: a intervenção coordenou as etapas de movimentação, definindo pontos específicos para a solicitação da empilhadeira e centralizando o transporte de peças. Com o novo sistema, a empilhadeira era chamada de maneira sincronizada, movendo todas as peças em uma só operação contínua. Essa alteração otimizou o tempo, reduziu ociosidade e minimizou o desgaste físico dos operadores;

- Atividades Eliminadas: múltiplas solicitações da empilhadeira ao longo do *setup*. Esperas prolongadas pelo transporte de matrizes, que causavam tempo ocioso e interrupções;

- Melhorias: a reorganização permitiu o uso contínuo da empilhadeira em um único momento do *setup*, eliminando o tempo ocioso e garantindo um transporte ágil das matrizes. Melhor coordenação das etapas de movimentação, reduzindo a carga de trabalho dos operadores e aumentando a segurança durante o transporte.

Grupo 4: Limpeza e Preparação das Mesas da Prensa

- Antes da Intervenção: a limpeza das mesas era feita em duas etapas, com a mesa inferior sendo limpa duas vezes. Esse procedimento não apenas era redundante, mas também atrasava a sequência do *setup*;

- Depois da Intervenção: a implementação de uma lona protetora sobre a mesa inferior permitiu que a limpeza fosse consolidada em uma única etapa. Após a remoção da lona, apenas uma limpeza final foi necessária. Essa abordagem economizou tempo e eliminou a duplicidade de atividades, simplificando o processo;

- Atividades Eliminadas: limpeza duplicada da mesa inferior, que era feita antes e depois da mesa superior;

- Melhorias: consolidação da limpeza em uma única etapa usando uma lona protetora na mesa inferior, o que reduziu significativamente o tempo total de *setup* e evitou retrabalhos. Simplificação

do processo de preparação, garantindo uma mesa limpa e pronta para o *setup* sem a necessidade de intervenções repetidas.

Grupo 5: Preparação das Novas Matrizes

- Antes da Intervenção: a preparação das matrizes ocorria dentro da prensa, o que exigia uma série de ajustes manuais demorados. Esse método aumentava o tempo total de *setup*, pois cada ajuste precisava ser testado e verificado repetidamente, atrasando o processo e gerando altos níveis de variabilidade;

- Depois da Intervenção: a intervenção transferiu a preparação das matrizes para uma área externa, onde a maioria das peças eram ajustadas previamente, utilizando um estojo especialmente projetado para facilitar o alinhamento e fixação. Com isso, as matrizes já chegavam prontas para a montagem na prensa, sem necessidade de ajustes adicionais. Essa mudança reduziu o tempo de *setup* e aumentou a precisão do alinhamento, garantindo que as matrizes estivessem prontas para uso imediato. Essa nova prática eliminou atividades de ajuste redundantes e aumentou a eficiência, melhorando a previsibilidade do processo;

- Atividades Eliminadas: ajustes manuais das matrizes dentro da prensa, que eram demorados e precisavam de verificação constante;

- Melhorias: realização dos ajustes das matrizes em uma área externa ao *setup* principal, reduzindo-se o tempo de *setup* e melhorando a precisão do alinhamento. Com as matrizes prontas para montagem, o *setup* tornou-se mais rápido e eficiente, eliminando-se atividades de ajuste interno e reduzindo a variabilidade do processo.

Grupo 6: Ajustes das Matrizes

- Antes da Intervenção: os ajustes das matrizes envolviam múltiplas rodadas de verificação e correção da concentricidade, com medições e alinhamentos repetidos para garantir a precisão. Essa abordagem aumentava significativamente o tempo de *setup* e gerava alta variabilidade, dependendo da habilidade do operador;

- Depois da Intervenção: a intervenção implementou um procedimento padronizado de ajustes. O alinhamento foi realizado de forma mais eficiente, com uma única verificação inicial de concentricidade e ajustes menores necessários. Isso reduziu a necessidade de rodadas repetidas e otimizou o tempo, garantindo que o *setup* fosse concluído com alta precisão desde o início. A eliminação da necessidade de ajustes adicionais aumentou a consistência entre os *setups*, reduzindo-se a variabilidade e garantindo uma melhor qualidade do forjamento;

- Atividades Eliminadas: múltiplas rodadas de ajustes e verificação de concentricidade devido ao alinhamento inconsistente;

- Melhorias: introdução de uma verificação inicial mais precisa e equipamentos de alinhamento melhorados, garantindo-se que o ajuste fosse concluído em uma única rodada. A padronização dessa etapa reduziu a necessidade de ajustes repetidos e garantiu-se uma configuração mais rápida e precisa para o forjamento.

Grupo 7: Atividades de Exceção

- Antes da Intervenção: atividades de exceção, como a substituição de uma “cunha” danificada, não tinham um procedimento específico e ocorriam de forma improvisada, causando interrupções imprevisíveis no fluxo do *setup*. A falta de um treinamento para estas situações resultava em tempos de parada elevados quando esses imprevistos ocorriam;

- Depois da Intervenção: um treinamento específico foi apresentado aos operadores para se obter uma resposta mais rápida e evitar tempos de inatividade prolongados quando imprevistos acontecerem;

- Atividades Eliminadas: tempo prolongado para se lidar com imprevistos, como a substituição de cunhas defeituosas;

- Melhorias: treinamento dos operadores para lidar rapidamente com esses imprevistos. Diminuição do impacto dos imprevistos no tempo total de *setup*, permitindo uma retomada rápida do processo em caso de falhas.

Grupo 8: Aquecimento, Testes e Liberação de Qualidade

- Antes da Intervenção: o aquecimento das matrizes e os testes de qualidade eram realizados em etapas separadas, com interrupções entre elas. Esse método fragmentado gerava tempos ociosos e causava atraso no início da produção, pois o aquecimento e as verificações de qualidade eram realizados fora de uma sequência contínua;

- Depois da Intervenção: o aquecimento passou a ser feito imediatamente após a montagem das matrizes, enquanto os testes de qualidade foram organizados em uma sequência contínua, integrando todas as verificações em uma única etapa. A intervenção reduziu a ociosidade e aumentou a eficiência da liberação para produção, eliminando a necessidade de aguardar entre as etapas de aquecimento e testes. Isso permitiu que a linha de produção fosse retomada de forma mais rápida e uniforme, com uma maior previsibilidade do tempo de *setup*;

- Atividades Eliminadas: fragmentação das etapas de aquecimento e teste de qualidade, que gerava tempos ociosos entre uma e outra;

- Melhorias: organização das etapas em uma sequência contínua, integrando o aquecimento e os testes de qualidade, eliminando a necessidade de esperas entre cada etapa. Redução de tempos ociosos e melhoria da eficiência, permitindo que a linha de produção fosse retomada mais rapidamente.

Grupo 9: Finalização do Setup

- Antes da Intervenção: a etapa final incluía o ajuste da prensa e o reposicionamento das matrizes, feitos de forma isolada, com a empilhadeira sendo requisitada múltiplas vezes para pequenos ajustes. Esse método fragmentado resultava em uma sequência final longa e sobrecarregada de etapas;

- Depois da Intervenção: todas as atividades finais foram agrupadas para que a empilhadeira fizesse o ajuste e reposicionamento das matrizes de uma só vez, enquanto o operador seguia para o aquecimento e forjamento inicial. A nova sequência eliminou a necessidade de manobras repetidas, promovendo uma transição contínua para a produção. Com o *setup* sendo concluído em uma só etapa final, o início da produção foi agilizado, reduzindo-se o tempo total e evitando interrupções;

- Atividades Eliminadas: manobras repetidas da empilhadeira para o ajuste e reposicionamento das matrizes em pequenas etapas;

- Melhorias: consolidação das etapas finais de ajuste, permitindo que o operador utilizasse a empilhadeira em uma só vez para reposicionar as matrizes e iniciar o aquecimento. Otimização do tempo de finalização e transição contínua para a produção, garantindo-se que o *setup* fosse concluído de forma rápida e eficiente.

Essas melhorias reduziram o processo de *setup* de 38 para 23 atividades e reorganizaram os grupos de atividades, diminuindo significativamente o tempo total de *setup* e aumentando a eficiência do processo.

A padronização das etapas iniciais, como o uso do botão de emergência e a remoção de dispositivos de segurança, eliminou variações no processo e aumentou a segurança do operador. Como enfatizado por Montini *et al.* (2020), a cultura organizacional no *Lean* prioriza o respeito pelas pessoas e a melhoria contínua, o que foi evidenciado pela atenção à segurança e à consistência dos procedimentos.

A reorganização do ambiente de trabalho e a proximidade de ferramentas reduziram deslocamentos desnecessários, exemplificando a eliminação de desperdícios destacados por Womack e Jones (2003). Essa mudança gerou um fluxo mais ágil e alinhado à abordagem de Taj (2008), que destaca a importância de se melhorar o fluxo de produção.

A coordenação otimizada da empilhadeira e a execução simultânea de tarefas reduziram tempos de espera e melhoraram a eficiência do processo. Essa aplicação reflete os princípios de Lee e Park (2021), que destacam a necessidade de otimizar processos para atender às demandas do mercado.

A padronização das etapas de limpeza e a eliminação de duplicidades exemplificam o uso eficaz do sistema *Lean* para reorganizar processos, conforme descrito por Kafuku (2019). Isso garantiu maior previsibilidade e eficiência.

A preparação das matrizes fora da prensa demonstrou a aplicação direta do *SMED*, reduzindo-se o tempo de *setup*, enquanto se mantinha a qualidade das peças. Haddad, Shaheen e Németh (2021) destacaram que o *SMED* impacta diretamente a disponibilidade e a eficiência global do equipamento.

A redução de ajustes repetitivos, por meio de medições unificadas e padronizadas, exemplifica a eficácia do *SMED* em eliminar etapas desnecessárias e garantir resultados melhorados (Niebel, 2003).

A eliminação de desperdícios no processo de resolução de problemas, como a espera por peças ou decisões improvisadas, exemplifica a aplicação de princípios *Lean* para melhorar a resposta a exceções (Womack e Jones, 2003).

A integração das etapas em um fluxo contínuo eliminou tempos ociosos, refletindo o conceito de fluxos enxutos de valor defendido por Ohno (2019). Além disso, a sincronização das atividades garantiu qualidade e agilidade no retorno à produção.

A finalização eficiente com a fixação das matrizes e liberação simultânea para produção destaca a capacidade do *SMED* de alinhar o tempo de *setup* à retomada rápida da produção, conforme descrito por McIntosh *et al.* (1996).

Com a implementação dos princípios de *Lean Manufacturing* e *SMED*, o processo de *setup* tornou-se mais ágil, seguro e eficiente, como mostrado na Tabela 8.

A redução do número de atividades durante o *setup* resultou em:

- Redução significativa no tempo médio de *setup* em 40%, com diminuição de atividades redundantes, como as limpezas duplicadas e o deslocamento para buscar ferramentas e com a implementação da bancada modular e o estojo;
- Maior segurança para os operadores, com o ambiente organizado, ferramentas acessíveis e procedimentos claros;
- Aumento da produtividade, uma vez que o tempo ocioso foi reduzido e os operadores conseguem concluir o *setup* mais rapidamente, permitindo o início da produção com menos interrupções;

- Melhoria contínua dos processos, com revisões periódicas e ajustes constantes, assegurando que o sistema esteja sempre evoluindo e se adaptando às necessidades da produção.

Tabela 8

 Dados comparativos entre grupos de *setup*

	Antes da intervenção		Após a intervenção	
	média	DV	média	DV
Grupo 1	0,83	0,420	5,31	0,96
Grupo 2	43,15	9,14	25,3	1,01
Grupo 3	49,60	7,50	45,58	1,79
Grupo 4	19,73	8,20	27,19	0,62
Grupo 5	9,15	7,96	13,81	1,15
Grupo 6	52,70	18,48	53,02	0,79
Grupo 7	39,71	7,82	0	0
Grupo 8	99,48	0	40	0
Grupo 9	12,68	3,44	23,33	1,42

Fonte: O autor (2024)

Essas mudanças resultaram em um processo de *setup* otimizado, que minimiza os desperdícios, promove a segurança e maximiza a eficiência operacional. Sabendo-se que a produção de flanges é de 100 peças/h e a redução de 40% no tempo médio de *setup* equivale em torno de duas horas e trinta e seis minutos, levando-se em conta a variabilidade do processo anterior em relação ao atual, a eficiência produtiva da linha de flanges da forjaria aumentou consideravelmente. Por exemplo, levava-se cerca de três horas para se produzir o mesmo lote de peças no processo atual, em relação ao anterior, aplicando-se as ferramentas do *Lean* e *Smed*, proporcionando uma vantagem competitiva para a linha de produção.

A aplicação da filosofia *Lean Manufacturing* e da ferramenta *SMED* resultou em uma redução média de 40% no tempo total do *setup*, diminuindo aproximadamente duas horas e trinta e seis minutos o tempo médio de *setup*. Essa otimização reduziu o tempo de máquina parada e aumentou a disponibilidade para a produção de flanges. Sabendo-se que a capacidade produtiva da prensa de

forjamento é de 100 peças/hora, a redução no tempo de *setup* significa um acréscimo potencial de até 236 flanges adicionais por lote de produção.

A redução do tempo de *setup* e a implementação da filosofia *Lean Manufacturing* e ferramenta *SMED* não impactaram apenas a eficiência produtiva, mas também trouxeram benefícios ambientais e sustentáveis. Os ganhos podem ser analisados sob três principais perspectivas: redução do consumo de energia, diminuição do desperdício de materiais e menor impacto ambiental no processo de forjamento.

O forjamento exige altas temperaturas e grandes prensas hidráulicas, tornando o consumo de energia um fator crítico na sustentabilidade do processo. Com a diminuição aproximadamente de duas horas e trinta e seis minutos o tempo médio do tempo de *setup*, houve uma redução de consumo energético por *setup*.

A melhoria no processo também reduziu significativamente erros operacionais e ajustes desnecessários, levando a uma menor geração de sucata metálica e retrabalho.

A redução do tempo de *setup* não apenas melhorou a produtividade, mas também tornou o processo de forjamento mais sustentável, com ganhos significativos em eficiência energética, redução de desperdícios e menor impacto ambiental.

4.2 APLICABILIDADE DO ESTUDO PARA SUA ÁREA DE CONHECIMENTO, SETOR/SEGMENTO OU REGIÃO

Esta pesquisa investigou a aplicação da filosofia *Lean Manufacturing* e da ferramenta *SMED* na otimização de *setups* em empresas de forjaria na região da Serra Catarinense, com foco no polo industrial de Lages. O setor, caracterizado por alta intensidade capitalística e produção de componentes para os setores da construção civil, agrícola e florestal, enfrenta desafios de competitividade frente a empresas multinacionais com maior capacidade tecnológica.

A implementação da filosofia *Lean Manufacturing* e da ferramenta *SMED* mitigou esses desafios por meio da redução de custos e aumento da eficiência produtiva, contribuindo para o fortalecimento do tecido industrial regional e o desenvolvimento econômico local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da filosofia *Lean Manufacturing* e da ferramenta *SMED* resultou em otimização significativa dos tempos de *setup* no setor de forjaria, com redução superior a 40% no tempo médio. Esta redução foi alcançada pela eliminação de atividades redundantes, deslocamentos desnecessários e atividades duplicadas, otimizando-se a organização do trabalho por meio da implementação do método 5S.

Consequentemente, observaram-se ganhos em produtividade, segurança e eficiência operacional, além da padronização dos processos. A pesquisa demonstra a viabilidade da aplicação dessas metodologias para aprimorar a produtividade e reduzir custos operacionais no setor metalomecânico. De modo inovador, o estudo demonstra a eficácia do *SMED* e *Lean Manufacturing* mesmo em contexto de maquinário obsoleto, refutando a premissa de que altos investimentos em tecnologia são pré-requisitos para a otimização de processos. Esta abordagem economicamente viável demonstra a possibilidade de inovação em sistemas produtivos menos avançados. Finalmente, a pesquisa destacou a importância da integração entre engenharia de produção e administração para uma análise holística da produtividade, considerando as dimensões econômica e ambiental na forjaria.

Este estudo apresentou uma contribuição inovadora ao demonstrar a viabilidade e eficácia da filosofia *Lean Manufacturing* e da ferramenta *SMED* em ambientes de baixa automação, com maquinário obsoleto e recursos tecnológicos limitados.

A inovação reside na adaptação dessas metodologias ao contexto específico do setor de forjaria, priorizando melhorias de processo e capacitação da força de trabalho em detrimento de investimentos em novas tecnologias.

Este enfoque em soluções práticas e acessíveis é aderente à área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos, que valoriza o desenvolvimento de soluções sustentáveis para desafios industriais. A aplicação bem-sucedida do *SMED* e *Lean Manufacturing* demonstra a possibilidade de implementação de metodologias avançadas em ambientes com recursos limitados, promovendo uma cultura de melhoria contínua e sustentabilidade.

Os resultados desta pesquisa demonstram impactos econômicos positivos, com redução de custos operacionais e aumento da produtividade, fortalecendo a competitividade da empresa na região da Serra Catarinense.

Adicionalmente, observaram-se repercussões sociais, por meio da melhoria das condições de segurança no trabalho e o desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua e sustentabilidade industrial, beneficiando a comunidade local.

Entretanto, a pesquisa enfrentou algumas limitações. A dependência do fator humano exigiu treinamento e adaptação dos operadores às novas metodologias, enquanto a tecnologia defasada do maquinário impôs restrições à plena implementação da filosofia *Lean*, comprometendo o potencial de otimização.

Como sugestões para futuros desenvolvimentos, recomenda-se o investimento em um novo estojo para otimizar ainda mais o tempo de *setup*, transferindo atividades internas para fora da prensa, e a aquisição de uma ponte rolante para substituir a empilhadeira no processo. Finalmente, pesquisas futuras podem explorar a replicação das metodologias *Lean* e *SMED* em outras etapas da linha produtiva, expandindo os benefícios da eficiência operacional para outros segmentos da indústria metalomecânica.

Portanto, a pesquisa oferece uma solução prática e adaptável para empresas do setor metalomecânico, servindo como referência para indústrias com desafios similares.



DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que esta dissertação, intitulada *LEAN MANUFACTURING E SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) APLICADAS AO SETOR DE FORJARIA DE UMA INDÚSTRIA DO SEGMENTO METALOMECÂNICO* é de minha autoria, sendo resultado de pesquisa original, e que todas as fontes utilizadas estão devidamente citadas e referenciadas segundo as normas da APA definidas para o Programa.

Declaro, ainda, que não utilizei trabalho de outros autores sem a devida menção, nem reproduzi, integral ou parcialmente, trabalhos de terceiros. As ideias e interpretações apresentadas são de minha inteira responsabilidade.

Lages, SC, 13 de julho de 2025.

Alisson da Silva Andrade

REFERÊNCIAS

- Ahmad, R., & Soberi, M. S. F. (2018). Changeover process improvement based on modified SMED method and other process improvement tools application: An improvement project of 5-axis CNC machine operation in advanced composite manufacturing industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4), 433–450. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0827-7>
- Altan, T., Şimşir, C., & Shen, G. (2012). *Cold and hot forging: Fundamentals and applications*. ASM International.
- Button, S. T. (1999). O ensino em laboratório de processos de conformação plástica de metais. In *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, Águas de Lindóia, SP, Brasil.
- Cakmakci, M. (2009). Process improvement: Performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(1–2), 168–179. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1434-4>
- Costa, J. N. G. (2020). Aplicação combinada de ferramentas Lean e de ergonomia na melhoria do desempenho dos postos de trabalho numa empresa de capas de assentos para a indústria automóvel.
- Fischer, A., Groche, P., & Hoffmann, A. (2019). Induction heating for metal forming processes: Fundamentals and applications. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 25(1), 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2019.08.004>
- Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. J. G., & Matias, J. C. O. (2018). Uma revisão da literatura estrutural da troca minuciosa de matrizes: As últimas tendências. *Procedia Manufacturing*, 17, 783–790. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.102>
- Groche, P., Hering, O., & Merklein, M. (2017). Smart forging: Integration of sensor technology and data analysis into forging processes. *CIRP Annals*, 66(1), 277-280. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.054>
- Haddad, T., Shaheen, B. W., & Németh, I. (2021). Melhorando a eficácia geral do equipamento (OEE) da máquina de extrusão usando a abordagem Lean de Manufatura. *Journal of Manufacturing Technology*, 21, 56–64.
- Helleno, A. L., de Moraes, A. J. I., Simon, A. T., & Helleno, A. L. (2017). Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry. *Journal of Cleaner Production*, 153, 405–416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46-64. <https://doi.org/10.1108/01443579710157989>
- Hirano, H. (1996). *5S for operators: 5 pillars of the visual workplace*. Productivity Press.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A commonsense, low-cost approach to management*. McGraw-Hill.

Juran, J. M. (1992). *Juran on quality by design: The new steps for planning quality into goods and services*. Free Press.

Kafuku, J. M. (2019). Fatores para a implementação eficaz da prática de manufatura enxuta em indústrias selecionadas na Tanzânia. *Procedia Manufacturing*, 33, 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.043>

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing engineering and technology* (6th ed.). Pearson Education.

Kim, D., Park, S. H., & Kang, C. Y. (2017). Isothermal forging of titanium alloys for aerospace applications. *Materials Science and Engineering: A*, 698, 162-173. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.05.013>

Lee, C., & Park, S. (2021). Mudando os fatores de satisfação do funcionário com as condições de trabalho: Uma análise das condições de trabalho coreanas. *Safety and Health at Work*, 12, 324–338. <https://doi.org/10.1016/shaw.2021.04.003>

Liker, J. (2005). *The Toyota Way Fieldbook*. McGraw Hill.

McIntosh, R., Culley, S., Gest, G., Mileham, T., Owen, G. (1996). Uma avaliação do papel do design na melhoria do desempenho da transição. *International Journal of Oper Prod Manage*, 16(9), 5–22.

Mileham, A. R., Culley, S. J., Owen, G. W., & McIntosh, R. I. (1999). Mudança rápida - um pré-requisito para fabricação responsiva. *International Journal of Production Management*, 19(8), 785–796.

Monden, Y. (2012). *Toyota production system: An integrated approach to just-in-time* (4ª ed.). CRC Press.

Montini, P., Pinho, C. M. de A., Oliveira, R. M. N. de, Costa, I., & Napolitano, D. M. R. (2020). Avaliação da relação da filosofia Lean e a cultura organizacional: Uma revisão bibliométrica. *Research, Society and Development*, 9(11), e059119386. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9386>

Ohno, T. (2019). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.

Oliveira, M. F. de. (2011). *Metodologia científica: Um manual para a realização de pesquisas em administração*. Metodologia Científica, 1–73. <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>

Patel, S., Shaw, P., & Dale, B. G. (2001). Redução do tempo de configuração e métodos à prova de erros: Um estudo de aplicação em uma pequena empresa. *Business Process Management Journal*, 7(1), 65–75.

Rajebhosale, V. (2013). Redução do tempo de configuração na máquina de impressão em pasta de solda - um estudo de caso. *International Journal of Lean Thinking*.

Ribeiro, M. A. S., Santos, A. C. O., Morim, G. da F., Oliveira, C. H. de, Braga, R. A. da S., & Netto, R. S. (n.d.). Análise da implementação da metodologia da troca de minutos únicos em uma agroindústria através pesquisa-ação.

Saba e Silva, G., & De Genaro Chiroli, D. M. (2020). Lean manufacturing: Ações de melhorias em empresa metalmeccânica. *Navus - Revista de Gestão e Tecnologia*, 10, 01–13. <https://doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-13.996>

Silva, I. B. da, Miyake, D. I., Batocchio, A., & Agostinho, O. L. (2011). Integrando a promoção das metodologias Lean Manufacturing e Six Sigma na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. *Gestão & Produção*, 18(4), 687–704. <https://doi.org/10.1590/s0104-530x2011000400002>

Shingo, S. (1985). *Uma Revolução na Manufatura: O Sistema SMED*. Productivity Press: Cambridge, OR, EUA.

Sugai, M. (2007). *Single Minute Exchange of Die (SMED): Método de Redução de Setup*. Editora da Universidade de São Paulo.

Suzaki, K. (1993). *The new manufacturing challenge: Techniques for continuous improvement*. Free Press.

Taj, S. (2008). Desempenho da manufatura enxuta na China: Avaliação das 65 fábricas. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(3), 217–234.

Totten, G. E. (2018). *Steel heat treatment: Metallurgy and technologies* (2ª ed.). CRC Press.

Vinoth Kumar, H., Annamalai, S., & Bagathsingh, N. (2020). Impacto da implementação enxuta do ponto de vista da ergonomia: Um artigo de pesquisa. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.113>

Wang, X., Yu, J., & Huang, Y. (2020). Warm forging of high-strength steel for automotive applications. *Journal of Manufacturing Processes*, 50, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.015>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Pensamento enxuto: Elimine o desperdício e crie riqueza em sua corporação*. Simon & Schuster.

Zanella, R., & Branco, P. (2019). Melhoria do setup de uma prensa excêntrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.