



**REDUÇÃO DO CUSTO E GANHO FINANCEIRO COM A DIMINUIÇÃO DO
TEMPO DE SETUP: ESTUDO DE CASO EM INJETORAS DE 800
TONELADAS**

Elcimar Corrêa de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: Jorge Laureano Moya Rodríguez
João Nazareno Nonato Quaresma

Belém
Agosto de 2016

**REDUÇÃO DO CUSTO E GANHO FINANCEIRO COM A DIMINUIÇÃO DO
TEMPO DE SETUP: ESTUDO DE CASO EM INJETORAS DE 800
TONELADAS**

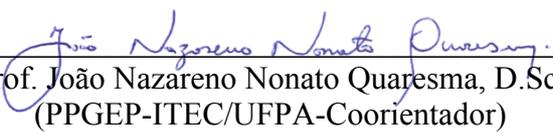
Elcimar Corrêa de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

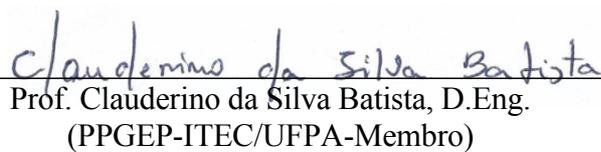
Examinada por:



Prof. Jorge Laureano Moya Rodríguez, Ph.D.
(PPGEP-ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. João Nazareno Nonato Quaresma, D.Sc.
(PPGEP-ITEC/UFPA-Coorientador)



Prof. Clauderino da Silva Batista, D.Eng.
(PPGEP-ITEC/UFPA-Membro)



Prof. Manuel Socorro Santos Azevedo, Dr.
(DEC/UEA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

AGOSTO DE 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Souza, Elcimar Corrêa de, 1963-

Redução do custo e ganho financeiro com a diminuição do tempo de setup: estudo de caso em injetoras de 800 toneladas / Elcimar Corrêa de Souza. - 2016.

Orientador: Jorge Laureano Moya Rodriguez;
Coorientador: João Nazareno Nonato Quaresma.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2016.

1. Administração da produção. 2. Produção enxuta. 3. Fundação sob pressão. I. Título.

CDD 22. ed. 658.5

Dedico este trabalho ao meu Deus por conceder a gentileza do dia e a oportunidade de contemplá-lo, pela sua fidelidade nos seus propósitos para comigo. A minha amada e querida mãe Marina Corrêa da Silva, que me direcionou no caminho certo da verdade, do amor, da justiça, e da perseverança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me permitir o cumprimento deste desafio e por me mostrar a cada dia que Ele guia todos os caminhos no lugar e no tempo exato.

À minha amiga, companheira, e fiel esposa Francisca Leite da Cruz de Souza, a qual sempre esteve firme nos momentos bons e nos momentos difíceis, compreendendo e me incentivando nesta caminhada.

Ao meu Orientador Jorge Laureano Moya Rodríguez por todo o esforço, a dedicação, a atenção, trabalhando arduamente com profissionalismo e me conduzindo nesta empreitada.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e ao PPGEP-UFPA pelo apoio à pesquisa.

Dá instrução ao sábio, ele fará mais sábio ainda; ensina o justo, e ele crescerá em prudência. O temor do senhor, é o princípio da sabedoria.

Provérbios 9.9 e 10

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M.Eng.)

**REDUÇÃO DO CUSTO E GANHO FINANCEIRO COM A DIMINUIÇÃO DO
TEMPO DE SET UP: ESTUDO DE CASO EM INJETORAS DE 800
TONELADAS**

Elcimar Corrêa de Souza

Agosto/2016

Orientadores: Jorge Laureano Moya Rodríguez
João Nazareno Nonato Quaresma

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Num mercado competitivo e globalizado atual, cada vez maiores são as exigências dos clientes com relação a qualidade do produto e o tempo de entrega. Para poder conseguir um menor tempo de entrega, o tempo de fabricação tem que ser menor. Em empresas de transformação, o que aumenta este tempo é o setup de configuração da máquina, o que é um desperdício, configurando um aumento do custo de produção. Este trabalho apresenta um procedimento para organizar e implementar uma redução do tempo de configuração das máquinas injetoras na fundição de uma empresa do Polo Industrial de Manaus. Baseia-se no trabalho em equipe e usa o método de “Single-Minute Exchange of Dies” (SMED), que permite uma redução gradual do tempo de configuração da máquina para menos de 15 minutos, e um sistema de melhoria contínua. Os índices avaliados foram mão de obra, custos, segurança e meio ambiente. O estudo foi desenvolvido em janeiro e fevereiro de 2014. Além disso, foram analisadas as questões de logística e qualidade. O documento também apresenta os resultados da organização e execução das medidas propostas para a redução dos tempos de configuração nas máquinas de injeção de 800 toneladas, bem como primeiras sugestões para melhorias que devem reduzir significativamente o tempo de configuração da máquina, reduzindo o custo de fabricação com ganho de produtividade.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M.Eng.)

**REDUCING COST AND FINANCIAL GAIN WITH THE SET UP TIME
DECREASE: CASE STUDY ON INJECTION MACHINES OF 800 TONS**

Elcimar Corrêa de Souza

August/2016

Advisors: Jorge Laureano Moya Rodríguez

João Nazareno Nonato Quaresma

Research Area: Process Engineering

Nowadays customer requirements are increasingly regarding product quality and delivery time. In order to get a shorter delivery time, manufacturing time has to be smaller. In manufacturing companies, which increases this time is the machine setup time, what is a waste time. This paper presents a procedure to organize and implement a reduction of the injection molding machine set-up time in a casting industry of the Industrial Polo of Manaus. It is based on teamwork and uses the method of "Single-Minute Exchange of Dies" (SMED), which allows a gradual reduction of machine setup time to less than 15 minutes and a continuous system improvement. The indices evaluated were: labor, costs, safety and the environment. The study was conducted in January and February 2014. In addition, logistics and quality issues were analyzed. The paper also presents the results of the organization and implementation of the measures proposed to reduce setup times in 800 tons injection machines, and some suggestions for improvements that should significantly reduce machine setup time.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONTEXTUALIZAÇÃO INICIAL.....	1
1.1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.2 – IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PROPOSTA DE ESTUDO.....	3
1.3 – OBJETIVOS.....	3
1.3.1 – Objetivo geral.....	3
1.3.2 – Objetivos específicos.....	3
1.4 – CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	4
1.5 – ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS.....	4
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 – TEMPO DE SETUP E CUSTOS DOS TEMPOS DE SETUP.....	6
2.2 – ÁREAS DE APLICAÇÃO.....	10
2.3 – AGENDAMENTO OU PROGRAMAÇÃO DE UMA ÚNICA MÁQUINA.....	10
2.4 – AGENDAMENTO DE MÁQUINAS PARALELAS OU EM PARALELO.....	11
2.5 – PROGRAMAÇÃO FLOW SHOP.....	13
2.6 - OUTROS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO OU AGENDAMENTO.....	14
CAPÍTULO 3 – O SMED ou TRF.....	17
3.1 – O SMED OU TRF.....	17
3.2 – ANTECEDENTES DO SMED.....	18
3.3 – SMED CONCEITOS FUNDAMENTAIS E MÉTODOS.....	20
3.3.1 – Importância do SMED e da redução do tempo de setup.....	21
3.3.2 – Metodologia para a troca de métodos.....	22
3.3.3 – Conceitos fundamentais do SMED.....	22
3.3.4 – Técnicas de aplicação.....	23
3.4 – PROBLEMAS MAIS COMUNS NA HORA DE REALIZAR AS TROCAS OU PREPARAÇÕES DE FERRAMENTAS.....	24
3.5 – IMPORTÂNCIA DOS CINCO “S” NA APLICAÇÃO DO SMED.....	25
3.5.1 – Procedimentos para melhorar a preparação.....	25
3.6 – OS QUATRO ESTÁGIOS CONCEITUAIS DA TRF (SMED).....	27
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA APLICADA À PESQUISA.....	29
4.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO.....	29
4.2 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	29
4.2.1 – Quanto à Natureza.....	30
4.2.2 – Quanto à Forma de Abordagem do Problema.....	30
4.2.3 – Quanto aos Objetivos.....	31

4.2.4 – Quanto aos Procedimentos Técnicos.....	31
4.3 – FERRAMENTA A SER UTILIZADA NA OBTENÇÃO DOS DADOS DA PESQUISA.....	33
4.4 – SISTEMA DE ANÁLISE E MELHORIA DE PROCESSOS (SAMP).....	34
4.5 – TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA (TRF).....	35
4.6 – CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS.....	35
4.7 – ALGUMAS ABORDAGENS SIMPLES PARA REDUZIR O TEMPO DE SETUP.....	35
CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO.....	37
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA DO ESTUDO DE CASO.....	37
5.2 – TEMPO DE MÁQUINA PARADA NA FUNDIÇÃO.....	39
5.3 – SELEÇÃO DAS PIORES MÁQUINAS PARA O ESTUDO DE CASO...	41
5.4 – DESCRIÇÃO DA TERCEIRA PLACA EXTRATORA E DO PROCESSO DE SUBSTITUIÇÃO DA MESMA.....	42
5.5 – FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DE INJEÇÃO.....	43
5.6 – ANÁLISE DO CUSTO DE SETUP NAS INJETORAS DE 800 TONELADAS.....	44
5.7 – DIAGRAMA 4MS.....	46
5.8 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	46
5.8.1 – Detalhes da melhoria.....	49
5.8.2 – Dificuldades de implantação e soluções.....	50
5.8.3 – Benefícios e ganhos obtidos.....	51
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Métodos e ferramentas do Lean Manufacturing.....	18
Figura 5.1	Sistema de fundição do setor DC da planta do estudo de caso.....	38
Figura 5.2	Análise do C.Q.D.M.S.E da empresa do estudo de caso.....	39
Figura 5.3	Origem das diferentes paradas na fundição.....	39
Figura 5.4	As 8 piores paradas de máquinas por motivo de ferramentaria, sendo a troca de molde a pior de todas.	40
Figura 5.5	Tempos de setup das diferentes máquinas com relação à média.....	40
Figura 5.6	Tempos de setup das diferentes máquinas agrupando as piores máquinas.....	41
Figura 5.7	Tempo de Setup das diferentes operações.....	42
Figura 5.8	Detalhe das diferentes placas da máquina de injeção...	42
Figura 5.9	Processo de substituição da terceira placa extratora.....	43
Figura 5.10	Detalhe das diferentes placas extratoras conforma peça a ser fundida.....	44
Figura 5.11	Quantidade mensal de setups nas injetoras de 800 tons.....	44
Figura 5.12	Custo do tempo mensal de setup.....	45
Figura 5.13	Custo anual de inversão para comprar as placas extratoras.....	45
Figura 5.14	Diagrama 4MS.....	46
Figura 5.15	Etapas do projeto da melhoria.....	49
Figura 5.16	Terceira placa extratora Unificada.....	50
Figura 5.17	Dificuldades de implantação e soluções.....	51
Figura 5.18	Detalhes do processo de setup depois das melhorias....	51
Figura 5.19	Tempos de setup das injetoras de 800 toneladas depois das modificações da terceira placa extratora.....	52
Figura 5.20	Comparação do tempo de setup com o que acontecia, com a meta e com o atingido.....	52
Figura 5.21	Máquina parada X Produtividade.....	53
Figura 5.22	Reais por máquina parada.....	53
Figura 5.23	Ganho em reais nas placas extratoras.....	54
Figura 5.24	Redução do custo total.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Estágios conceituais do SMED e as técnicas associadas.....	28
Tabela 5.1	Propostas para resolver o Problema e diminuir o tempo de setup das injetoras de 800 toneladas.....	48

NOMENCLATURA

CEO	Chief executive officer
JIT	Just in time
OPT	Tecnologia otimizada de produção
GT	Tecnologia de grupo
CM	Manufatura celular
SMED	Single-Minute Exchange of Dies
TRF	Troca Rápida de Ferramentas
TPM	Total productive Maintenance
WIP	Work in Process
DC	Direct Cooling
C.Q.D.M.S.E.	Custo, Qualidade, Logística, Segurança, Mão de obra, e Meio Ambiente

CAPÍTULO 1

CONTEXTUALIZAÇÃO INICIAL

1.1 - INTRODUÇÃO

No mercado atual em que as empresas de manufatura estão inseridas, há um crescente aumento das exigências em relação a qualidade e tempo de entrega dos produtos, e as vezes, os fornecedores nem sempre alcançam níveis desejáveis de qualidade nos produtos e serviços oferecidos, por estarem eles também, inseridos neste mercado que muda constantemente.

"Uma das realizações mais notáveis em manter o preço dos (nossos) produtos baixo é a redução gradual do ciclo de produção. Quanto mais tempo um artigo está no processo de fabricação e quanto mais ele é movido neste processo, maior é o seu custo final".

O que provavelmente não é surpreendente sobre esta afirmação, é que ela foi feita pelo CEO (Chief executive officer) da empresa Fortune 500, mas o que pode ser mais surpreendente é quem, e quando foi feita, foi Henry Ford em 1926. Ford estava praticando manufatura enxuta e just-in-time da produção e reduzindo os tempos de setup, pelo menos 20 anos antes de que a Toyota e outras empresas japonesas. O que em última análise, e o mais surpreendente de tudo é que poucas empresas americanas realmente tenham tomado essas lições para si, mesmo 75 anos depois que a Ford as introduziu.

A vantagem competitiva das empresas japonesas nos dias de hoje, parece ser resultado da aplicação de princípios e métodos gerenciais peculiares. De fato, diversos autores (LUBBEN, 1989; SHONBERGER, 1992; MULLARKEY *et al.*, 1995; JACKSON e MARTIN, 1996) indicam que por trás da superior competitividade japonesa, encontra-se um poderoso mecanismo de gestão da produção consagrado como *Just in time* (JIT). O JIT é uma técnica de gestão que tem por finalidade fazer com que cada processo seja suprido com os itens certos, no momento certo, na quantidade certa e no local certo, eliminando toda e qualquer perda (GHINATO, 1995)

(REIS e ALVES, 2010) assinalam que uma das bases da produção enxuta é o baixo tempo de setup, que pode ser obtido por soluções organizacionais de baixo custo e/ou de projeto de alto custo, tal como mudança de máquina. Quando a mudança de projeto se

apresentar como a melhor solução, torna-se necessário o cálculo do ganho para se ter certeza da viabilidade econômica da ação.

A redução no tempo, custos e complexidade do *setup* de máquinas é a mais fácil, barata e rápida das melhorias que as fábricas podem realizar. (HARMON e PETERSON, 1991; CHIROLI e RAMOS, 2015).

(LEITE *et al.*, 2014) Desenvolvem uma proposta para a redução da oscilação no tempo de set-up de uma máquina da empresa Freso Brinquedos e Playgrounds. Eles utilizam o método qualitativo e desenvolveram além disso uma pesquisa bibliográfica em assuntos relacionados ao tema principal, gestão da produção, com foco no tempo de setup e nos processos produtivos.

A eliminação deste desperdício resulta em um processo de fabricação dinâmico, tornando-se uma ferramenta estratégica para a organização. (RECH, 2004; SUGAI *et al.*, 2007; SATOLO e CALARGE, 2008)

O setup compreende todas as tarefas necessárias a partir do instante em que se tenha finalizado a última peça do lote anterior, até o momento em que dentro do coeficiente normal de produtividade, se tenha produzido a primeira peça do lote posterior (MOURA e BANZATO, 1996).

Um recurso utilizado para contribuir na redução destes tempos de setup é o conceito de SMED, ou Troca Rápida de Ferramentas (TRF), o qual consiste em analisar e reduzir significativamente a indisponibilidade dos equipamentos nos processos (SHINGO, 2005).

A utilização da Troca Rápida de Ferramenta (TRF) auxilia na redução dos tempos de processamento (*Lead times*), possibilitando à empresa resposta rápida diante das mudanças do mercado. Outra vantagem da TRF é a produção econômica de pequenos lotes de fabricação, o que geralmente exige baixos investimentos no processo produtivo (SHINGO, 2000).

Tem-se desenvolvido muitos trabalhos com relação a troca rápida de Ferramentas. (SEIDEL e SAURIN, 2015) desenvolvem um trabalho relacionando a produção enxuta com a TRF e mostram os benefícios da TRF na produção enxuta. (DA CAS *et al.*, 2015) apresentam e discutem a redução do tempo de setup na linha de envase de uma indústria farmacêutica de grande porte brasileira. Os principais resultados da pesquisa foram a eliminação de atividades que não agregavam valor ao processo, e melhoria na utilização dos ativos, proporcionando à linha uma resposta mais rápida às frequentes mudanças de planejamento dos pedidos de clientes.

1.2 - IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PROPOSTA DE ESTUDO

Ao se pensar em estratégia de produção, seja ela qual for, a primeira preocupação que se percebe na organização diz respeito à relação custo x benefício, tendo em vista que o que mantém qualquer empresa viva no mercado competitivo é a possibilidade de auferir lucros da venda de seus produtos, propiciando assim dividendos aos seus investidores.

Nesse sentido, empresas orientais já experimentaram e comprovaram que esta transformação nos sistemas de produção em massa é responsável pelo aumento da qualidade, produtividade, competitividade e, conseqüentemente, pelo aumento da lucratividade.

O presente estudo justifica-se pela busca incessante na otimização de processos industriais, através de aplicação das mais variadas ferramentas do Lean Manufacturing o que permitiria a redução dos custos de produção, além do envolvimento de todos os funcionários no processo de melhoria contínua.

Esta pesquisa busca responder a problemática: *É possível reduzir o custo total reduzindo o custo de setup e obter ganho financeiro nas máquinas injetoras?*

1.3 - OBJETIVOS

1.3.1 - Objetivo geral

Reduzir o tempo e o custo de Setup no processo de troca de molde nas injetoras de 800 toneladas, a fim de obter ganhos financeiros para tornar a empresa mais competitiva.

1.3.2 - Objetivos específicos

- Desenvolver uma pesquisa bibliográfica sobre os tempos de setup e sobre o agendamento de máquinas;
- Usar os métodos e procedimentos da Troca Rápida de Ferramentas, para o desenvolvimento do presente trabalho;
- Selecionar a empresa e o processo para aplicação do Estudo de Caso;
- Realizar estudo de caso do problema;
- Identificar os pontos possíveis de melhorias;

- Utilizar a técnica da TRF para atingir o objetivo da redução do tempo de setup;
- Evidenciar benefícios, vantagens com a implementação das medidas propostas.

1.4 - CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Como contribuição principal deste trabalho está a inovação no processo, tornando a companhia mais competitiva, através da redução do tempo e do custo de *setup*, eliminando o tempo despendido nas mais diversas trocas de moldes, dependendo do plano de produção demandado, além da redução de custo na aquisição da terceira placa extratora. O estudo foi aplicado com sucesso numa empresa do Polo Industrial de Manaus, obtendo-se ganhos financeiros superiores a R\$ 200.000,00 (duzentos mil Reais).

A relevância deste estudo baseia-se também no enxugamento dos processos, pois um dos principais objetivos da manufatura enxuta é reduzir o desperdício de esforço humano, eliminar as perdas e as atividades que não agregam valor ao produto, fabricando produtos de qualidade da forma mais eficiente e econômica (SINGH *et al.*, 2010).

1.5 - ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

O presente Capítulo 1, apresenta a tratativa do estudo em questão, contextualizando o assunto com base em publicações anteriores, fazendo a identificação e justificativa da proposta de estudo, descrevendo os objetivos geral e específicos pretendidos, além de explicar sua contribuição e relevância para as companhias do mesmo segmento.

No Capítulo 2, é apresentado a fundamentação teórica, na qual a pretensão é situar o leitor sobre a importância da redução dos custos e dos tempos de setup, além dos diferentes tipos de programação ou agendamento de máquinas.

No Capítulo 3, há uma pesquisa de abordagem bibliográfica com base em estudos já realizados do processo de Troca Rápida de Ferramentas (SMED ou TRF), as suas características e procedimentos que dela fazem parte, e que foram aplicados no estudo, sendo esse embasamento teórico o responsável por dar o direcionamento dos

aspectos relevantes que foram considerados no planejamento e realização do estudo de caso.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, fazendo contextualização sobre o ambiente. A aplicação do uso do estudo de caso foi direcionada pela ferramenta PDCA e pela TRF. A forma como o estudo foi construído é mostrada nesse capítulo.

O Capítulo 5 apresenta o estudo de caso. Apresenta uma descrição da empresa, da problemática apresentada, com a definição do problema mesmo, passando pelo monitoramento das atividades através dos indicadores, pelas análises de causa, implementação das melhorias e os resultados obtidos, medidos e controlados após as ações realizadas.

Finalmente o Capítulo 6 apresenta as conclusões da pesquisa.

No final deste trabalho também podem ser encontradas as referências bibliográficas e apêndices.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - TEMPO DE SETUP E CUSTOS DOS TEMPOS DE SETUP

O tempo de setup pode ser definido como o tempo necessário para preparar o recurso necessário (por exemplo, as máquinas, as pessoas, etc.) para executar uma tarefa (por exemplo, trabalho, operação). O Tempo de setup é a quantidade de tempo necessário para trocar um dispositivo de uma equipe, e preparar a equipe para produzir um modelo diferente, dentro da expectativa de produzir com a qualidade exigida pelo cliente, sem incorrer em custos para a empresa, na busca de conseguir com isso reduzir o tempo de produção ao longo do processo. Em outras palavras, o tempo de setup é o tempo de preparação ou adaptação de uma máquina ou linha de produção antes de iniciar um processo de produção. Por exemplo: em uma máquina de prensa o tempo de setup é o tempo de baixar o molde anterior, montar o novo e deixá-lo pronto para começar a produzir.

O Tempo de setup é definido como o tempo que passa, entre quando a última peça boa que sai da execução atual e quando a primeira peça boa sai fora da próxima corrida, além de operar em condições ótimas.

Se avaliar superficialmente, a redução do tempo de setup pode não proporcionar um retorno significativo, desde que o tempo de setup em uma fábrica típica possa representar apenas cerca de 5-10 por cento do tempo total de processamento. Então, se essa instalação típica fosse para eliminar o tempo de setup completamente, o retorno seria um aumento da capacidade de apenas 5-10 por cento.

Reduzindo o tempo de setup para zero pode ser caro. Então, por que as grandes empresas estão trabalhando tão arduamente para reduzir os tempos de setup? Talvez eles vejam outros benefícios que não sejam só o aumento da capacidade.

O aumento da capacidade de fato é um motivador importante para melhorar o tempo de setup. Olhando de perto problemas de capacidade, provavelmente irá revelar que a maioria dos problemas são causados por produção ou saída limitada de uma ou duas máquinas ou processos. Esses gargalos limitam a produção de toda a instalação, e, provavelmente, são responsáveis pela maioria dos pedidos atrasados, por isso,

concentrando-se tempo e esforço na redução de setup para as máquinas-chave será um bom investimento.

Mas, a maioria das organizações que são eficazes na redução dos tempos de setup, descobriram grandes benefícios na redução do lead time e aumento da capacidade de resposta ao cliente. O Lead Time (prazo de execução ou tempo de ciclo) é quase diretamente proporcional ao trabalho em processo de inventário (WIP), reduzindo o tempo de setup também permite às empresas reduzir o tamanho dos lotes, o que resulta em uma redução de igual percentual no lead time.

Geralmente, é possível reduzir os tempos de setup em até 50 por cento, sem despesas de capital, e que a mesma redução do tempo de setup também pode permitir reduções de tamanho de lote, de pelo menos, a mesma quantidade. Assim, em um período relativamente curto de tempo e sem desembolso de caixa, uma empresa pode reduzir o lead time em mais de 50 por cento.

Mas, o retorno mais significativo de um programa de redução de setup é que ele pode ser o elemento mais crítico, ou pelo menos o primeiro passo na implementação, de um programa de manufatura enxuta bem sucedido. Sem os tamanhos dos lotes reduzidos que a redução do tempo de setup permite, nenhum dos outros componentes da manufatura enxuta (UIT, Kanban, etc.) pode ser implementado de forma eficaz

O custo de setup é o custo da criação de qualquer recurso utilizado antes da execução de uma tarefa. As atividades de setup podem incluir:

- (1) a obtenção de ferramentas, trabalho de posicionamento do material de processo, ferramentas de retorno, limpeza, fixação das peças e acessórios necessários, ferramentas de ajuste, e inspeção de material em um sistema de produção,
- (2) a criação de um ambiente adequado para realizar as tarefas em uma organização de serviços,
- (3) a transferência de programas e seus arquivos dependentes, bem como seus tempos de execução em um sistema de computador,

Em algumas situações onde o tempo de setup e o custo de setup são proporcionais, é suficiente para considerar ou o tempo de setup ou o custo de setup. Isto normalmente ocorre quando o tempo ocioso de recursos é a única preocupação,

No entanto, em outras situações, onde o custo de trocas entre determinadas tarefas é relativamente alta, mesmo que o tempo de setup seja relativamente baixo, o custo de setup é da mais de significância (isso pode ocorrer em ambientes que requerem trabalho altamente qualificados).

Existem dois tipos de tempo de setup ou de custo de setup: sequencialmente independente e sequencialmente dependente. Se o tempo/custo de setup/custo depende unicamente da tarefa a ser processada, independentemente da sua tarefa precedente, ele é chamado de sequencialmente independente.

Por outro lado, no tipo sequencialmente dependente, o tempo/custo de setup depende tanto da tarefa e a sua tarefa anterior. Em alguns ambientes, pode haver diferentes famílias ou um grupo de tarefas que envolvem (menores) tempos/custos de setup entre as tarefas dentro de uma família e (maiores) tempos/custos de setup entre as famílias de tarefas. A configuração dos tempos/custos de setup pode ser também sequencialmente independente ou sequencialmente dependente

A importância e os benefícios de redução dos tempos/custos no atual agendamento de problemas em ambos os ambientes de manufatura e serviços, é de grande importância para utilizar eficientemente vários recursos. Tratar os tempos/custos de setup separadamente dos tempos/custos de processamento permite operações a serem realizadas simultaneamente e, portanto, melhora a utilização de recursos

Isto é, em particular, importante nos sistemas modernos de gestão de produção, tais como just-in-time (JIT), tecnologia otimizada de produção (OPT), tecnologia de grupo (GT), manufatura celular (CM), e competição baseada no tempo.

Os benefícios da redução dos tempos de setup/custos incluem: despesas reduzidas, aumento da velocidade de produção, o aumento da produção, redução dos tempos de preparação, trocas mais rápidas, maior competitividade, maior rentabilidade e satisfação, permitindo a manufatura enxuta, os fluxos mais suaves, mais ampla gama de tamanhos de lotes, menor curva total de custo, menos rupturas, inventário inferior, tamanhos de pedidos mínimos mais baixos, entregas mais rápidas e maior satisfação do cliente.

A importância e os benefícios da incorporação de tempos de setup/custos em pesquisas de agendamento e preparação foram investigados por muitos pesquisadores desde meados dos anos 1960. Por exemplo, em uma pesquisa com gerentes industriais, PANWALKAR *et al.* (2013) observam que cerca de 75% dos gestores exigem um tratamento separado dos tempos de setup. CHUNG e KRAJEWSKI (1984) e KRAJEWSKI *et al.* (1987) apontam que a redução simultânea dos tempos de preparação e tamanhos de lote é o meio mais eficaz para reduzir os níveis de inventário e melhorar o serviço ao cliente. FLYNN (1987) demonstra que a programação com tempos de setups/custos aumenta a capacidade de produção em ambientes de

manufatura flexível, enquanto WORTMAN (1992) sublinha a importância do problema na gestão eficaz da capacidade de produção.

KOGAN e LEVNER (1998) descobriram que o tratamento dos tempos de setup como separado pode reduzir significativamente o makespan em uma linha de produção automatizada com robôs. LIU e CHANG (2000) afirmam que o tempo de setup / custo é um fator significativo na programação da produção; pode facilmente consumir mais de 20% da capacidade de recursos disponíveis. TROVINGER e BOHN (2005) relatam que até 50% da capacidade efetiva pode ser perdida devido a atividades de setup em uma montagem de placa de circuito impresso.

Aplicando uma abordagem de redução do tempo de setup, pode ser obtida uma redução de tempos de setup de mais de 80%, e benefícios diretos de US \$ 1,8 milhões por ano (TROVINGER e BOHN, 2005).

TREVINO *et al.* (1993) apresentam um modelo de justificativa para a redução do tempo de setup. O modelo inclui o custo de inventário de transporte, custo de instalação, o custo de armazenamento, o custo redução do tempo de instalação e custos de qualidade.

O nível de redução do tempo de setup que produz o menor custo total, indica o grau em que a redução do tempo de setup é economicamente justificável. Um estudo de caso é apresentado com base em uma máquina e um único produto. Os resultados indicam que a redução do tempo de setup ilimitado sempre não é justificado com base na análise de um produto. No entanto, um maior nível de redução é justificado se o tamanho do lote é reduzido apropriadamente do mesmo jeito que o tempo de instalação é reduzido.

SARASWATI *et al.* (2008) exploram o impacto da redução de setup no modelo de tamanho do lote económico conjunta (JELS). O estudo começa com a otimização de um fornecedor individual, com um fabricante individual, que implementa a redução de setup sob duas condições: 1) quando as entregas são feitas após a corrida de produção é concluída; 2) quando as entregas são executadas durante o ciclo de produção, e, desde o momento em que a quantidade é igual ao tamanho do lote. A otimização individual do fabricante está baseada no modelo EOQ. Em seguida, a integração entre um fornecedor único e um único fabricante, é uma abordagem para investigar o impacto da redução de setup sobre o custo total da articulação. Há sete casos de política ótima a ser examinados, e são colocados nas duas categorias; como uma política individual e como uma política conjunta entre um fornecedor e um fabricante.

2.2 - ÁREAS DE APLICAÇÃO

Em muitos ambientes práticos, é necessário considerar os tempos de setup ou preparação como separação do tempo de processamento. Estas aplicações podem ser encontradas em vários sistemas de produção, de serviços e de processamento de informações, etc. Por exemplo, numa aplicação de sistema de computador, um trabalho requer um tempo de preparação para carregar um compilador diferente se o compilador corrente não é adequado. Em uma indústria de impressão, um tempo de setup é necessário para preparar a máquina (por exemplo, limpeza), que depende da cor dos trabalhos atuais e imediatamente seguintes. Em uma indústria têxtil, o tempo de configuração de tecelagem e o tempo de tecido depende da sequência de postos de trabalho. Em uma indústria de recipientes/garrafas, o tempo de setup depende dos tamanhos e formas dos recipientes/garrafas, enquanto que em uma indústria de plásticos diferentes tipos e cores de produtos requerem tempos de preparação ou setup diferentes. Situações semelhantes surgem em química, farmacêutica, processamento de alimentos, processamento de metais, indústrias de papel, e muitas outras indústrias/áreas.

2.3 - AGENDAMENTO OU PROGRAMAÇÃO DE UMA ÚNICA MÁQUINA

KUO e YANG (2007) e YANG (2010) examinaram os efeitos de aprendizagem e esquecimento sobre o problema das famílias de agendamento de tarefas em uma única máquina para minimizar o tempo total de conclusão de todos os trabalhos, onde ocorre um tempo de setup sempre que a máquina muda o processamento de um trabalho de uma família para outra. Três modelos são apresentados e comparados para investigar o impacto da aprendizagem e esquecimento. Estes modelos incluem casos sem esquecimento, esquecimento total, e esquecimento parcial assumindo a posição dependente do tempo de processamento de trabalho. Eles fornecem um algoritmo branch-and bound e um procedimento heurístico.

KOULAMAS e KYPARISIS (2007, 2008), PANWALKAR e KOULAMAS (2015) e YIN *et al.* (2015) resolvem um problema de programação de uma única máquina em que os tempos de preparação ou setup são proporcionais ao tempo de trabalho já agendado. Eles consideram funções objetivo a amplitude, o tempo total de conclusão, as diferenças absolutas totais em tempos de conclusão, bem como uma combinação dos

dois últimos. Mostram que, utilizando qualquer uma destas funções objetivo, o problema pode ser resolvido através de um processo de triagem. Além disso, eles demonstram que os resultados podem ser estendidos para problemas de agendamento em ambientes de aprendizagem, onde os tempos de configuração já não são funções lineares do tempo de processamento já decorrido, devido a efeitos de aprendizagem.

Um problema de agendamento foi estudado de uma única máquina para minimizar atraso com tempos de setup de família (SCHALLER e GUPTA, 2008; HERR e GOEL, 2016). Apresentam um algoritmo branch-and-bound com e sem tecnologia de grupo. Uma heurística é também proposta para o caso com o pressuposto de tecnologia de grupo. Eles empiricamente mostram que a programação sem usar a suposição de tecnologia de grupo pode reduzir consideravelmente o tempo total de adiantamento e de atraso.

MOSHEIOV *et al.* (2005) consideram um problema de programação de lote em uma única máquina, a fim de minimizar o tempo total de fluxo, onde os tempos de processamento de trabalhos são idênticos e os tempos de preparação são iguais para todos os lotes com tamanhos limitados. Eles resolvem o problema em dois cenários: o tamanho dos lotes ou tem um limite superior comum ou um limite inferior comum.

KACEM *et al.* (2008) exploram um problema de agendamento de máquina única de minimizar a soma ponderada dos tempos de conclusão em que exista um período de setup planejado no qual a máquina não está disponível. Eles apresentam duas heurísticas e discutem os seus piores casos de desempenho.

2.4 - AGENDAMENTO DE MÁQUINAS PARALELAS OU EM PARALELO

LEUNG *et al.* (2008) estudam o problema da atribuição de postos de trabalho em lotes e programação dos lotes em máquinas idênticas paralelas com o objetivo de minimizar a soma dos tempos de conclusão. Cada tempo de processamento do trabalho é assumido como sendo uma função de etapa de seu tempo de espera; isto é, o tempo entre o início do processamento do lote a que pertence o trabalho e o início do processamento do trabalho. Eles mostram que o problema é um problema, mesmo para uma única máquina e uma etapa de deterioração fixa. Eles apresentam um algoritmo para o caso especial dos tempos de processamento de base idênticos e também propõem um algoritmo de aproximação para o caso geral.

GUO *et al.* (2015) consideram o problema de programação paralela de máquinas com etapas de deterioração do trabalho e tempos de setup dependentes da sequência. O objetivo é minimizar o atraso total, determinando a alocação e sequência de trabalhos em máquinas paralelas idênticas. Neste problema, o tempo de processamento de cada trabalho é uma função etapa dependente do seu tempo de começo. Um tempo prolongado individual é penalizado quando o tempo de partida de um trabalho é mais tarde do que a data de deterioração específica.

A possibilidade de deterioração do trabalho faz com que o problema da programação de máquinas paralela seja mais desafiador do que os normais. Um modelo de programação inteira mista para a solução ótima foi derivado. Devido à natureza NP-hard do problema, é proposto um algoritmo híbrido não convencional de busca discreta para resolver este problema. A fim de gerar um bom exame inicial, uma heurística modificada chamada MBHG é incorporada na inicialização da população.

Um procedimento de busca local com base na descendência vizinhança variável está integrado no algoritmo como uma estratégia híbrida a fim de melhorar a qualidade das soluções de elite. Experimentos computacionais foram executadas em dois conjuntos de casos de teste gerados aleatoriamente. Os resultados mostraram que o algoritmo híbrido proposto pode produzir melhores soluções em comparação com outros solver (ferramentas de teste de hipóteses) comerciais.

MONKMAN *et al.* (2008) fornecem uma heurística de três passos para um problema de programação da produção com um volume alto de montagem de fabricante de eletrônicos. Eles consideram configurações dependentes da sequência de várias famílias de produtos em máquinas idênticas paralelas, com o objetivo de minimizar os custos totais de setup. Os passos da heurística envolvem atribuição, sequenciamento, e agendamento de tempo, com uma abordagem de otimização desenvolvida para cada etapa. Os resultados empíricos mostram uma redução dos custos de setup até 20%.

AUBRY *et al.* (2008) estudam o problema de minimizar os custos de setup envolvidos na configuração de máquinas paralelas, sob a restrição de que um plano de produção com balanceamento de carga, que pode ser feito para satisfazer todas as exigências. Eles mostram que o problema é NP-Hard, e formulá-lo como um modelo de programação inteira. Sob determinadas condições, o problema é resolvido utilizando um modelo de transporte e o desempenho de tal solução é analisada.

HAVILL e MAO (1998) resolvem o problema do agendamento de tarefas paralelas perfeitamente maleáveis com tempos de chegada arbitrárias em vários processadores,

onde os trabalhos paralelos maleáveis podem distribuir a carga de trabalho entre qualquer número de processadores disponíveis em um computador paralelo, a fim de diminuir o tempo de execução. Eles consideram tanto o aumento da velocidade linear quanto os tempos de setup dos trabalhos. Para o objetivo de minimizar o makespan (tempo total de processamento de todas as tarefas em todas as máquinas), eles apresentam um algoritmo on-line que é mais simples do que algoritmos off-line anteriores para planejar tarefas maleáveis, que exigem mais do que um número constante de passes através da lista de trabalhos.

2.5 - PROGRAMAÇÃO FLOW SHOP

YENISEY e YAGMAHAN (2014) Destacam que o problema de programação o agendamento flow shop é encontrar uma sequência, dada n tarefas com a mesma ordem em m máquinas de acordo com determinadas medidas de desempenho. O trabalho pode ser processado em, no máximo, uma máquina; enquanto isso uma máquina pode processar no máximo um trabalho. O objetivo mais comum para este problema é makespan. No entanto, muitos problemas de programação do mundo real são multiobjectivos por natureza. Ao longo dos anos tem havido várias abordagens utilizadas para lidar com os problemas de programação multiobjectivo de problemas de Flow Shop.

OLADEINDE *et al.* (2015) apresentam uma formulação baseada em rede de um problema Flow Shop de permutação. Dois tipos de problemas de flow shop com diferentes níveis de complexidade são superados, utilizando diferentes abordagens para a formulação de programação linear. Os principais parâmetros do flow shop foram obtidos sem a abordagem tradicional de usar gráficos de Gantt. Os modelos de programação linear dos problemas loja fluxo considerados, foram resolvidos usando LINGO 7.0. A presente técnica mostrou ser muito eficaz e eficiente.

RUIZ e STÜTZLE (2007) apresentam um procedimento heurístico para resolver o problema de programação flow shop de várias máquinas tanto com makespan ou objetivos tardios ponderados, em que os tempos de setup são dependentes da sequência. O procedimento envolve duas fases: uma fase de construção/destruição baseado em um conceito ganancioso iterativo, e uma fase de teste de aceitação com base no conceito de recozimento simulado. Os resultados computacionais mostram que a abordagem

proposta tem um desempenho melhor do que as abordagens existentes para ambos os objetivos referidos.

YANG *et al.* (2008) examinaram um problema de programação multifamiliar de duas máquinas com fluxos de produção de reentrada, para minimizar o makespan. Os postos de trabalho na mesma família são idênticos e são processados em sucessão. A máquina precisa de um tempo de setup quando um trabalho vem de uma família diferente. O problema mostrou ser NP-hard, um algoritmo branch-and-bound foi proposto para resolver o problema, e experimentos computacionais são fornecidos.

LEE *et al.* (2015) propõem um algoritmo heurístico eficiente para duas fases de programação em um processo de produção repetitiva (flow shop) híbrida, com tempos de setup dependentes da sequência. No passado, as abordagens meta-heurísticas, que normalmente precisam de muito tempo, têm sido utilizadas principalmente para a solução deste problema. Neste estudo, devido a motivos práticos da aplicação que consideraram os autores, eles precisam obter a solução do problema dentro de um tempo computacional razoavelmente curto, mesmo para problemas de grande porte. Então eles conceberam o algoritmo proposto como um híbrido dos dois métodos. Os resultados das experiências computacionais mostraram que o algoritmo proposto resolve os problemas em um tempo de computação relativamente mais curto, enquanto os desempenhos de programação são superiores aos métodos existentes.

YOKOYAMA (2001) considerou um problema híbrido de programação flow shop com tempo de setup e operações de montagem. Inicialmente, as tarefas são processadas em um flow shop que consiste em várias máquinas, e em seguida são montadas em produtos finais em uma única máquina de montagem. O objetivo é minimizar o tempo de conclusão principal para todos os produtos acabados. O autor propôs um método de programação pseudo dinâmica e um método branch and bound. Os resultados computacionais mostram que podem ser obtidos bons agendamentos de forma eficiente.

2.6 - OUTROS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO OU AGENDAMENTO

LEVNER *et al.* (2010) analisam o status atual de complexidade dos modelos básicos de agendamento ou programação cíclicos. Formulam os três problemas de agendamento cíclicos básicos, ou seja: o Job Shop cíclico, o Flow Shop, e problemas de agendamento de projetos cíclicos. Apresentam resultados do state-of-the-art sobre a complexidade computacional dos problemas, dando especial atenção aos resultados recentes sobre a

insolubilidade (NP-hard) de vários problemas cíclicos emanados do agendamento de células robotizadas.

CRAMA *et al.* (2000) estudam um problema de agendamento cíclico de robô-único, com tempos de setup e restrições de janelas de tempo de processamento, onde o objetivo é minimizar o tempo de ciclo. Eles mostram que o problema é equivalente ao problema de rota crítica paramétrica, e propõem um forte algoritmo de tempo polinomial. O algoritmo, que é uma extensão do conhecido algoritmo de Bellman-Ford, usa um novo procedimento de marcação para identificar a rota crítica paramétrica na rede.

ANDRES *et al.* (2008) estenderam o problema clássica de balanceamento de simples linhas de montagem, pela inclusão de tempos de setup dependentes da sequência dentro dos postos de trabalho. O objetivo é o de minimizar o número de estações de trabalho, enquanto observando as relações de precedência e mantendo um limite superior para o tempo de ciclo. Um modelo de programação matemática é apresentado, e a heurística e os procedimentos propostos são avaliados.

MOSHEIOV e ORON (2008) analisaram um problema de programação ou agendamento de lotes de n máquinas de uma oficina aberta com idênticas tarefas e tempos de setup de sequência independente e disponibilidade de lote. O objetivo é minimizar o makespan ou tempo médio de fluxo. Eles mostram que o problema minimizando o makespan pode ser resolvido em tempo constante. Devido a complexidade do problema com a minimização do tempo de fluxo médio que é desconhecida, eles propõem um algoritmo que estende a solução ao caso de uma única máquina.

SHERALI *et al.* (2008) discutem um problema emergente na gestão do setup de sistemas de produção, considerando um ambiente com várias máquinas que formam uma linha, exigindo que as operações de setup sejam realizadas por vários funcionários. Eles apresentam um modelo matemático e um algoritmo para agendar tarefas, a fim de minimizar o tempo de setup levando em conta alguns objetivos secundários relevantes, tais como equilibrar a carga de trabalho entre os trabalhadores, concentrando a folga perto do fim do processo de setup, e minimizando os custos de movimentação dos trabalhadores que executam as diferentes tarefas de setup.

WEGLARZ *et al.* (2011) realizaram um estudo dos aspetos relacionados ao projeto único, objetivo único, problemas de agendamento determinístico, nos quais as atividades do projeto podem ser efetuadas usando um número finito ou infinito (e

incontável) de modos em matéria de recursos de diversas categorias e tipos. A pesquisa é baseada em uma estrutura unificada de um cronograma do projeto modelo incluindo recursos, atividades, objetivos e horários. Os modelos mais importantes e solução de abordagens em toda a classe de problemas são caracterizados, e orientações para futuras pesquisas são apontadas.

BERK *et al.* (2008) analisaram o problema de dimensionamento de lotes de um único item de demanda dinâmica para um processo quente/frio com ambos os tempos de setup iguais a zero e diferentes de zero, bem como as vendas perdidas. As perdas de vendas para determinado período não afetam a demanda do próximo período. Para manter o processo quente para o próximo período, a produção deve exceder um limite dado. O objetivo é determinar a quantidade mínima de produção, a fim de manter o processo de aquecimento. Eles apresentam uma abordagem de programação dinâmica.

CAPÍTULO 3

O SMED ou TRF

3.1 - O SMED OU TRF

O SMED (Single-Minute Exchange of Dies) conhecida em português como Troca Rápida de Ferramentas (TRF) é um sistema para reduzir drasticamente o tempo que leva para completar as trocas de equipamentos. A essência do sistema SMED é converter o maior número de etapas de transição possível para "externas" (executadas enquanto o equipamento está em funcionamento), ve para simplificar e agilizar as etapas restantes. O nome "Single-Minute Exchange of Dies" vem do objetivo de reduzir os tempos de troca das ferramentas para um simples dígito (ou seja, menos de 10 minutos).

A equação para calcular o tempo necessário para a fabricação de uma série de peças e a montagem de componentes é a seguinte:

$$t = t_s + m \cdot t_1 \quad (3.1)$$

Sendo:

t - tempo necessário para a fabricação de peças e montagem de componentes [Nh / séries].

t_s - tempo de configuração de máquina (setup) ou tempo de montagem (setup) [Nh / séries]

m - número de unidades dentro de uma série [peças / série]

t_1 - tempo de fabricação/montagem por unidade [Nh / peça].

A análise dessa equação levou Ohno à conclusão de que a empresa poderia fazer uma transição de fabricação de grandes séries a pequenas séries, somente se eles pudessem reduzir substancialmente os tempos de preparação de máquinas e locais de trabalho de montagem, ou seja, os tempos de setup (DAGER, 2014).

A tarefa de encontrar um método adequado para reduzir o tempo de setup foi dada a Shigeo Shingo, que é o autor do método de configuração rápida da máquina, também conhecido como SMED (single minute exchange of dies) ou em português TRF. (SHINGO, 1985).

O método SMED é um dos métodos de manufatura enxuta que permitem a concorrência bem sucedida nos mercados interno e externo (ver Figura 3.1)

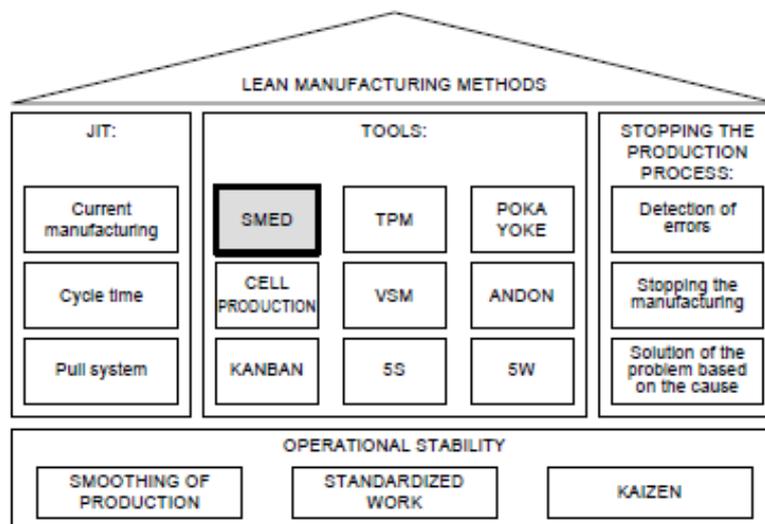


Figura 3.1 - Métodos e ferramentas do Lean Manufacturing.
 Fonte: KUŠAR *et al.* (2010).

3.2 - ANTECEDENTES DO SMED

O sistema SMED nasceu pela necessidade de lograr a produção JIT (just in time), uma das pedras angulares do sistema Toyota de fabricação, e foi desenvolvido para encurtar os tempos da preparação de máquinas ou setup, pretendendo fazer lotes de menor tamanho (Isto significa que podem satisfazer as necessidades dos clientes com produtos de alta qualidade e baixo custo, com rápidas entregas sem os custos de estoques excessivos). Partindo das ideias e conceitos gerados por Shigeo Shingo (SHINGO e DILLON, 1989), as que permitiram fazer realidade ao “Just in Time” como revolucionário sistema de produção, mediante a redução a um dígito de minuto do tempo, necessário para trocar as ferramentas ou preparar estas aos efeitos do seguinte processo de produção, se fez possível reduzir a sua mínima expressão os níveis de inventario, tornando mais flexíveis os processos produtivos, reduzindo enormemente os custos e incrementando os níveis de produtividade. Mas era necessário, partindo de tal filosofia e, fazendo uso tanto de ferramentas estatísticas, métodos de análise e investigação, sistemas para a resolução de problemas e, a criatividade aplicada; gerar um sistema mais amplo que não só levara em consideração os processos produtivos de bens correspondentes a diversas atividades, mas também os tempos de setup e troca de ferramentas vinculados as atividades de serviços. Esta nova ótica ou forma de ver os

procedimentos, parte da necessidade imperiosa de não se amoldar só aos processos tradicionais objetos de análise por parte de Shingo, os quais estiveram por sobre todas as coisas vinculadas a trabalhos e atividades metal-mecânicas, dado o seu especial interesse em princípio na produção automotriz (Sistema de Produção Toyota / “Just in Time)

Então, pode-se afirmar que a Troca Rápida de Ferramentas (TRF) foi desenvolvida por Singeo Shingo a partir dos anos 50 no Japão. Também conhecido como Single Minute Exchange or Die (SMED) (SUGAI *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2011), a meta principal dessa técnica é realizar a troca de ferramenta em apenas um dígito de minuto, ou seja, até 9:59 minutos (DA COSTA *et al.*, 2012).

Em outros termos, busca-se identificar e eliminar os desperdícios de tempo. Os benefícios completos dessa ferramenta somente podem ser atingidos depois da realização de uma análise das operações de setup e da identificação dos seus quatro estágios conceituais. A partir da aplicação de técnicas efetivas em cada estágio, é possível reduzir drasticamente os tempos de setup e atingir melhorias significativas de produtividade (SHINGO, 1985).

A troca rápida de ferramentas constitui-se um método que permite reduzir os tempos de mudança de utensílios, de materiais, ou de séries, pela preparação antecipada da mudança de referência e pela sincronização e simplificação das tarefas (JUNIOR, 2008).

Antes de detalhar os estágios conceituais, é importante diferenciar dois conceitos essenciais, o setup interno e o setup externo. Setup interno são as operações que só podem ser realizadas quando a máquina estiver parada. Setup externo corresponde às operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento (LEÃO e DOS SANTOS, 2009; DO VALLE DELGADO *et al.*, 2014; PAWLAK *et al.*, 2014).

Um programa SMED bem sucedido terá os seguintes benefícios:

- Menor custo de fabricação (trocas mais rápidas significam menos tempos de equipamentos parados);
- Tamanhos de lotes menores (trocas mais rápidas permitem alterações de produtos mais frequentes);
- Melhoria da capacidade de resposta à demanda dos clientes (lotes menores permitem uma programação mais flexível);

- Menores níveis de estoque (lotes menores resultam em menores níveis de estoque);
- Startups mais suaves (processos de transição normalizados melhoram a consistência e qualidade).

O processo SMED se concentra em fazer o maior número possível de elementos externos, e simplificando e racionalizando todos os elementos.

3.3 - SMED CONCEITOS FUNDAMENTAIS E MÉTODOS

A essência da filosofia SMED, consiste em eliminar o conceito de lote de fabricação, reduzindo ao máximo o tempo de preparação e setup das máquinas. Para empresas que querem incrementar sua flexibilidade e ao mesmo tempo diminuir seus níveis de estoque, resulta criticidade em reduzir ao mínimo os tempos, tanto para as trocas de ferramentas como para as preparações. Esta necessidade por vez, está inserida dentro da filosofia de redução de tempo ou máxima velocidade, hoje presente em todas as atividades, desde a capacidade de rápida atenção, à redução de tempos de resposta, menores prazos desde a pesquisa e projeto até o início da produção e colocação do produto no mercado, e a redução nos prazos de elaboração. O tempo vale ouro, e cada dia ele toma maior importância, desde o ponto de vista da satisfação do cliente, como dos custos e da capacidade competitiva da empresa.

Eliminar o conceito de lote de fabricação reduzindo ao máximo o tempo de preparação de máquinas e de materiais, esta é a essência da filosofia SMED. Hoje, se aposta não só em reduzir ao mínimo os tempos de preparação, mas também os tempos de reparação e manutenção.

Quando uma empresa tem trabalhado na redução do tempo de preparação de uma máquina concreta durante vários anos, comprova que é possível reduzir radicalmente o tempo de troca de várias dezenas de horas, a menos de dez minutos. Mais tarde, e para a mesma máquina, se podem ganhar tempos de dezenas de minutos. Um pouco mais adiante se pode falar então em tempos de troca para menos de dez minutos. Algumas empresas ainda têm conseguido o objetivo final: trocas ao primeiro toque, onde o tempo é quase igual a zero. Nenhuma empresa pode permitir-se o luxo de deixar de trabalhar sem reduzir os tempos de troca até chegar a este objetivo. Não se trata de analisar se é ou não possível, porém, de ver o que tem que ser feito, e em quanto tempo poderá consegui-lo.

3.3.1 - Importância do SMED e da redução do tempo de setup

Embora existam um grande número de técnicas destinadas ao incremento ou melhoria da produtividade, a redução nos tempos de setup merece especial consideração e é importante por três motivos:

1. Quando o tempo de troca é alto, os lotes de produção são grandes e, portanto, a inversão em inventário é elevada. Quando o tempo de troca é insignificante se pode produzir diariamente a quantidade necessária, eliminando quase totalmente a necessidade de investir em inventários.
2. Os métodos rápidos e simples de troca eliminam a possibilidade de erros nos ajustes de ferramentas e utensílios. Os novos métodos de troca reduzem substancialmente os defeitos e suprimem a necessidade de inspeções.
3. Com trocas rápidas pode-se aumentar a capacidade da máquina. Se as máquinas funcionam sete dias na semana, 24 horas ao dia, uma opção para ter mais capacidade, sem comprar máquinas novas, é reduzir seu tempo de troca e preparação.

Uma das vantagens mais importantes de reduzir os tempos de preparação a cifras de um só dígito, é que a empresa pode passar a trabalhar com menor estoque, e a fabricar lotes menores. Dado que para algumas fábricas a inversão no inventário de produto acabado é o maior ativo, sua conversão em efetivo pode servir para financiar outras inversões ou reduzir dívidas.

O SMED é sem sombra de dúvidas um conceito de alta inovação gerado pelos japoneses dentro do âmbito da engenharia industrial ou engenharia de produção. Cabe considerar que nas empresas japonesas, a redução de tempos de setup não somente recai sobre o pessoal de engenharia, mas também nos Círculos de Controle de Qualidade. É bom destacar que atualmente tal filosofia de trabalho já não se aplica tão somente nas trocas de ferramentas e preparação de máquinas e equipes, mas também na preparação em postos de trabalho, nas de salas de operação, preparação de embarques aéreos, atenção na logística de entrega, e, de outras atividades vinculadas aos serviços.

3.3.2 - Metodologia para a troca de métodos

Como no caso de outros métodos de trabalho, se faz uso de diversas técnicas, sendo elas:

- Análise do Diagrama de Pareto: destinado a diferenciar os muitos triviais dos poucos vitais. Ou seja, concentrar-se em aquelas poucas atividades que absorvem a maior parte no tempo de troca e/ou preparação.
- As seis perguntas clássicas: Que? – Como? – Onde? – Quem? – Quando? e os respectivos, Por que?, correspondentes a cada uma das respectivas respostas, com o objetivo de eliminar ou desnecessário, combinar e reordenar as tarefas buscando simplifica-las.
- Os cinco, Por que? sucessivos: há os efeitos de detectar possibilidades de troca, simplificação ou eliminação de tarefas, compreendidas no processo de troca de ferramentas ou preparação das máquinas ou equipamentos. Esta técnica está fundamentalmente enfocada na busca da causa raiz, ou seja, nos fatores que no caso concreto determinam os tempos de preparação ou troca de ferramentas.

3.3.3 - Conceitos fundamentais do SMED

A os efeitos da redução nos tempos de preparação devem levar-se em consideração quatro conceitos chaves, consistindo em:

1. Separar a preparação interna da externa. Deve-se entender por preparação interna, todas àquelas atividades para cuja realização é necessário parar a máquina ou equipe. Enquanto que a externa inclui todas aquelas atividades que pode ser feita enquanto a máquina está em funcionamento;
2. Converter quanto seja possível a preparação interna em preparação externa, de tal forma que muitas atividades que devem em princípio serem feitas com a máquina parada possa ser adiantada enquanto ela esteja em funcionamento. Exemplo: a máquina de colar a pressão pode pré-aquecer utilizando o calor que sobra do forno, que serve a esta máquina. Isto significa que se pode eliminar o tempo para aquecer o molde metálico da máquina;
3. Eliminação dos processos de ajuste. As atividades de ajuste podem representar entre 50% e 70 % do total das atividades internas. Por esse motivo, é importante

e imperioso reduzir sistematicamente o tempo de ajuste aos efeitos de reduzir o tempo total de preparação. A chave não consiste em reduzir o ajuste, mas em “eliminá-lo” mediante um pensamento criativo (por exemplo: ajustando as ferramentas em um só movimento – one touch up);

4. Suprimir a própria fase de preparação. Aos efeitos de eliminar por completo a preparação, podem adotar-se dois critérios. O primeiro consiste em utilizar um projeto ou design uniforme dos produtos ou empregar a mesma peça para distintos produtos; e o segundo enfoque consiste em produzir as distintas peças ao mesmo tempo. Este último pode-se alcançar por dois métodos. O primeiro método é o sistema de conjunto. Por exemplo, no mesmo molde, se fazem duas fôrmas diferentes. O segundo método consiste em moldar as distintas peças em paralelo, mediante a utilização de várias máquinas de menor custo.

3.3.4 - Técnicas de aplicação

Se utilizam no SMED seis técnicas destinadas a dar aplicação aos quatro conceitos anteriormente expostos.

Técnica Nº 1: Padronizar as atividades de preparação externa. As operações de preparação dos moldes, ferramentas e materiais devem converter-se em procedimentos habituais e padronizados. Tais operações padronizadas devem ser feitas por escrito e fixa-las na parede, para que os operários as possam visualizar. Depois, os trabalhadores devem receber o correspondente treinamento para domina-las.

Técnica Nº 2: Padronizar somente as partes necessárias da máquina. Se o tamanho e a forma de todos os moldes se padronizarem completamente, o tempo de preparação se reduzirá consideravelmente. Mas, dado que a união resulta de em um custo elevado, se aconselha padronizar somente a parte da função necessária para as preparações.

Técnica Nº 3: Utilizar um elemento de fixação rápido. Hoje ainda o elemento de sujeição mais difundido é o perno, dado que o mesmo sujeita na última volta da porca e pode afrouxar-se na primeira volta, há diversas ideias de elementos que permitem uma mais eficaz e eficiente sujeição. Entre tais elementos se conta com a utilização do orifício em forma de pera, a arandela em forma de U e a porca e o perno acanalado.

Técnica Nº 4: Utilizar uma ferramenta auxiliar. Se leva muito em consideração unir um molde com umas garras diretamente na prensa de moldar na base de um torno.

Por conseguinte, o molde ou as garras devem unir-se a uma ferramenta auxiliar na fase de preparação externa, e depois na fase de preparação interna esta ferramenta pode fixar-se na máquina quase instantaneamente. Para isso ser viável é necessário proceder a padronização das ferramentas auxiliares. Pode fazer-se menção como exemplo desta técnica, a mesa móvel giratória.

Técnica Nº 5: fazer uso de operações em paralelo. Uma prensa de molde grande e uma máquina grande de lavagem a pressão terão muitas posições de fixação em seus quatro costados. As operações de preparação de tais máquinas ocuparão muito tempo ao operário. Mas, deve-se aplicar a tais máquinas operações em paralelo por duas pessoas, podem eliminar-se movimentos inúteis e reduzir-se assim o tempo de preparação.

Técnica Nº 6: Utilização de um sistema de preparação mecânica. Ao colocar o molde, poderia fazer uso de sistemas hidráulicos ou pneumáticos para a fixação simultânea de várias posições em segundos. Por outra parte, as alturas dos moldes de uma prensa de moldar poderiam ajustar-se mediante um mecanismo eletrônico.

3.4 - PROBLEMAS MAIS COMUNS NA HORA DE REALIZAR AS TROCAS OU PREPARAÇÕES DE FERRAMENTAS

Quando as atividades de preparação se prolongam demasiado ou o tempo de preparação varia consideravelmente, é possível que deve estar acontecendo os seguintes problemas ou inconvenientes:

1. A terminação da preparação é incerta;
2. Não há padronização para o procedimento de preparação;
3. O procedimento não se observa devidamente;
4. Os materiais, as ferramentas e os modelos não estão dispostos antes do começo das operações de preparação;
5. As atividades de acoplamento e separação duram demasiado;
6. É alto o número de operações de ajuste;
7. As atividades de preparação não têm sido adequadamente avaliadas;
8. Variações não aleatórias nos tempos de preparação das máquinas;

Estes obstáculos podem e devem salvaguardar-se mediante a verificação diária e o reiterado questionamento das condições de preparação no lugar de trabalho;

3.5 - IMPORTÂNCIA DOS CINCO “S” NA APLICAÇÃO DO SMED

As atividades de Organização-Ordem-Limpeza-Padronização e Disciplina são essenciais e fundamentais para uma correta e ótima aplicação para colocar em funcionamento do sistema SMED.

O poder encontrar rapidamente as ferramentas, o dispor de todas as equipes e lugar de trabalho em estado de limpeza, e o dispor de elementos visuais que permitam o melhor ajuste, são benefícios que traz consigo a aplicação sistemática das Cinco “S”.

3.5.1 - Procedimentos para melhorar a preparação

Além das gravações em vídeo e dos estudos de tempos e movimentos relacionados com as atividades de preparação, tem quatro procedimentos mais para alcançar melhorias. O primeiro consiste em separar a preparação interna da preparação externa. O segundo, em reduzir o tempo de preparação interna mediante a melhoria das operações. O terceiro, em promover uma ulterior redução do tempo de preparação interna melhorando a equipe. O quarto é o desafio de reduzi-lo até deixá-lo em zero.

Fase 1: Diferenciação da preparação externa e a interna. Por preparação interna, mencionado em parágrafos anteriores, se incluem todas àquelas atividades que para poder efetua-las requiere que a máquina esteja parada. No entanto que a preparação externa se refere as atividades que podem levar-se a cabo enquanto a máquina funciona. O principal objetivo desta fase é separar a preparação interna da preparação externa, e converter quanto seja possível a preparação interna em preparação externa. Para converter a preparação interna em preparação externa e reduzir o tempo desta última, são essenciais os quatro pontos seguintes:

- Preparar previamente os modelos, ferramentas, moldes e materiais;
- Manter os moldes em boas condições de funcionamento (TPM);
- Criar tabelas das operações para a preparação externa;
- Manter a boa ordem e limpeza na zona de armazenamento dos modelos e moldes retirados (Cinco “S”).

O mais importante destes quatro pontos é o último: manter limpa e ordenada a zona de armazenamento das ferramentas, modelos e moldes. Se as ferramentas estão

armazenadas de um modo desordenado em uma caixa de ferramentas, os trabalhadores perderão tempo buscando as que necessitem; é a típica operação inútil que não cria valor adicional.

Fase 2: as preparações internas que não podem converter-se em externas devem ser objeto de melhoria e controle contínuo. A tais efeitos se consideram chave para a melhoria contínua das mesmas os seguintes pontos:

- Manter as zonas de armazenamento de ferramentas e moldes limpas e ordenadas (Cinco “S”);
- Atentar para os efeitos das trocas introduzidos na sequência das operações;
- Atentar às necessidades de pessoal para cada operação;
- Atentar à necessidade de cada operação;

O exame contínuo dos pontos antes descritos tornaram-se aparente oportunidades de melhoria.

Fase 3: Melhoria da equipe. Todas as medidas tomadas aos efeitos de reduzir os tempos de preparação têm se referido até agora as operações ou atividades. A próxima estratégia se enfoca na melhoria da equipe. A seguir se expõem algumas formas de fazer isso viável.

- Organizar as preparações externas e modificar a equipe de forma tal que possam selecionar-se distintas preparações apertando um botão;
- Reciclar o calor procedente das operações de mecanização e utiliza-lo para o preaquecimento de fornos;
- Modificar a estrutura da equipe ou inventar ferramentas que permitam uma redução da preparação e do posto em andamento;
- Eliminar os ajustes necessários para fixar a altura ou a posição dos moldes ou modelos, mediante o uso de um disjuntor de final de série, ou converter os ajustes manuais em automáticos;
- Revisar a folha de sequência de operações padronizadas e treinar os operários para melhorar a equipe.

Fase 4: Preparação zero. O tempo ideal de preparação é zero. Para viabilizar isso é necessário utilizar uma peça comum para vários produtos. Isto poderia ser alcançado na fase de desenvolvimento e design dos novos modelos.

3.6 - OS QUATRO ESTÁGIOS CONCEITUAIS DA TRF (SMED)

A TRF conduz à redução do tempo de Setup de forma progressiva e Shingo fala dos estágios conceituais aos quais a TRF passa (SHINGO, 2005; SUGAI *et al.*, 2007; ANDERE, 2012):

a) Estágio um

Este primeiro estágio é um estágio preliminar, é o estágio anterior ao início da aplicação da TRF. Nesta etapa, grande parte das atividades que poderiam ser executadas com a máquina operando (Setup externo) é executada após a parada da máquina (na fase de Setup interno), tendo como consequência altos tempos de Setup.

b) Estágio dois

Consiste basicamente da separação das atividades que devem ser realizadas com a máquina parada (Setup interno) das que podem ser realizadas enquanto a máquina ainda está operando (Setup externo). É importante fazer uma lista de verificação que inclua todas as peças, condições de operação e medidas que tenham de ser realizadas com a máquina em operação e testar o uso de todos os componentes antes do Setup a fim de evitar esperas por não conformidade de insumos ou ferramentas.

c) Estágio três

O terceiro estágio, consiste em analisar as operações de Setup atuais para determinar se alguma das atividades consideradas do Setup interno pode ser convertida em Setup externo. (SHINGO, 2005) cita como exemplo pré-aquecer uma matriz de injeção para que o tempo de aquecimento da mesma não consuma tempo do Setup interno.

d) Estágio quatro

Para (SHINGO, 2005) o estágio final da TRF envolve analisar os então Setups interno e externo e tentar identificar possíveis ações de melhoria em ambos.

Ele cita, entre centenas de melhorias obtidas ao longo dos anos com a TRF as que comprovaram serem as mais efetivas:

- Separação bem definida dos Setups interno e externo
- Conversão total do Setup interno em externo
- Eliminação de ajustes
- Fixação sem parafusos

“Estes métodos podem reduzir os Setups para menos de 5% dos seus tempos anteriores” destaca que “a maneira mais rápida de trocar uma ferramenta é não ter de trocá-la”(SHINGO, 2005).

Na Tabela 3.1 mostra-se de forma resumida os estágios conceituais do SMED.

Tabela 3.1. - Estágios conceituais do SMED e as técnicas associadas.

Estágio conceitual	Técnicas associadas
Estágio 1	Utilização de um <i>check-list</i> ; Verificação das condições de funcionamento; e Melhoria no transporte de matrizes.
Estágio 2	Preparação antecipada das condições operacionais; Padronização de funções; e Utilização de guias intermediárias.
Estágio 3	Melhoria na estocagem e no transporte de navalhas, matrizes, guias, batentes, etc; Implementação de operações em paralelo; Uso de fixadores funcionais; Eliminação de ajustes; Sistema de mínimo múltiplo comum; e Mecanização.

Fonte: SUGAI *et al.* (2007).

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA APLICADA À PESQUISA

Neste capítulo serão abordados os procedimentos da metodologia utilizada para preparação e realização de todas as fases do estudo. É demonstrado aplicação das ferramentas da TRF. Além de contemplar a redução do tempo de setup os métodos de inovação e otimização de processos baseados na teoria da produção enxuta (*lean manufacturing*).

4.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO

Um projeto de pesquisa é o documento que possui as ideias principais de uma pesquisa que será realizada, cada um de seus itens deve aparecer em sequência e sem mudança de folha a cada novo item. É como um “esquema” de pesquisa, que trata de, quatro problemas principais: quais questões estudar, quais dados são relevantes, quais dados coletar e como analisar os resultados (YIN, 2015).

Este capítulo orienta a forma que a pesquisa está sendo conduzida bem como as características. Em princípio será apresentada uma visão abrangente e na sequência as principais etapas pormenorizadas. A referida pesquisa se sustenta em quatro eixos principais: pesquisa bibliográfica; o desenvolvimento; a pesquisa empírica e os resultados esperados.

4.2 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para DA SILVA e MENEZES (2005) uma pesquisa pode ser classificada de quatro formas: quanto à natureza, quanto à forma de abordagem do problema, quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos.

Para ARAÚJO (2007) a classificação da pesquisa quanto aos procedimentos utilizados pode ser caracterizada quanto a natureza, quanto aos fins da pesquisa e quanto aos meios utilizados: Quanto a natureza, podem ser qualitativas ou quantitativas, quanto

aos fins a pesquisa pode ser, entre outros: exploratória, descritiva, explicativa e metodológica e quanto aos meios podem ser: pesquisa de campo, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, empírica e estudo de caso. A seguir é feita a classificação desta pesquisa mediante definição dos autores mencionados acima.

4.2.1 - Quanto à Natureza

Segundo FLYNN *et al.* (1990) a pesquisa empírica ou de campo é a busca de dados relevantes e convenientes obtidos através da experiência, da vivência do pesquisador. Tem como objetivo chegar a novas conclusões a partir da maturidade experimental do (s) outro (s). Assim podemos entender que a pesquisa empírica é o levantamento de dados a partir de fontes diretas (pessoas) que conhecem, vivenciaram ou tem conhecimento sobre o tema, fato ou situação e que, podem causar diferenciação na abordagem e entendimento dos mesmos, conduzindo a uma mudança, acréscimo ou alteração profunda, relevante que não distorça, agrida ou altere o conteúdo principal, mas, sim, que o enriqueça e transforme em conhecimento de fácil compreensão e também sentindo-se atraído pela mesma.

Esta dissertação de mestrado está caracterizada como uma pesquisa empírica, porque objetiva desenvolver uma série de medidas para diminuir o tempo de setup em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, e terá a interação com os profissionais da empresa envolvendo: gestores, técnicos e os pesquisadores para legitimar as informações levantadas e contribuir com a geração de conhecimento prático.

4.2.2 - Quanto à Forma de Abordagem do Problema

Quanto à forma de abordagem do problema, uma pesquisa pode ser classificada em quantitativa ou qualitativa (DA SILVA e MENEZES, 2005).

Para ARAÚJO (2007) será uma pesquisa qualitativa, quando se referir ao estudo sobre o comportamento humano. Os métodos estão fundamentados na utilização de agrupamentos intuitivos, confrontações a conhecimentos e induções generalizadas. Descreve a complexidade de determinado problema analisando a interação das variáveis. A pesquisa será quantitativa, quando mensurada as opiniões na coleta e tratamento dos dados, utilizando-se de recursos estatísticos.

Para MAY (2004) [...] ao avaliar esses diferentes métodos, deveríamos prestar atenção, [...], não tanto aos métodos relativos a uma divisão quantitativa-qualitativa da pesquisa social – como se uma destas produzisse automaticamente uma verdade melhor do que a outra -, mas aos seus pontos fortes e fragilidades na produção do conhecimento social. Para tanto é necessário um entendimento de seus objetivos e da prática.

Esta pesquisa possui as características predominante de uma pesquisa quali-quantitativa, pois, se utilizará do uso de recursos e técnicas estatísticas e interações das variáveis teóricas provenientes de pesquisa bibliográfica e pesquisa empírica.

4.2.3 - Quanto aos Objetivos

Quanto aos objetivos fins de uma pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva ou explicativa (DA SILVA e MENEZES, 2005; GIL, 2010). Esta pesquisa tem características predominantemente descritiva, exploratória e explicativa. Conforme ARAÚJO (2007) a pesquisa descritiva: descreve as características de determinado fenômeno ou população. Pode também estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza. Não tem o compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação. E exploratória, que é desenvolvida em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Por sua natureza de sondagem, não comporta hipóteses que, todavia, poderão surgir durante ou ao final da pesquisa. O significado dos dados empíricos depende do referencial teórico, mas estes dados agregam impacto pertinente, sobretudo no sentido de facilitarem a aproximação prática" (DEMO, 1995).

4.2.4 - Quanto aos Procedimentos Técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos ou aos meios, a pesquisa pode ser bibliográfica, documental, experimental, levantamento, estudo de caso, pesquisa *ex-post-facto*, pesquisa ação ou pesquisa participante (DA SILVA e MENEZES, 2005; ARAÚJO, 2007; GIL, 2010).

YIN (2015) faz interessante observação sobre: Definição dos casos e unidades de análises, onde destaca: há quatro tipos de estudo de caso:

- Casos únicos: são válidos e decisivos para testar a teoria, quando é raro ou extremo; quando é representativo ou típico, ou seja, se assemelha a muitos outros casos;

quando é revelador, ou seja, quando o fenômeno é inacessível; e longitudinal, em que se estuda o caso único em momentos distintos no tempo;

- Casos múltiplos: são mais consistentes e permitem maiores generalizações, mas demandam maiores recursos e tempo por parte do pesquisador;

- Enfoque incorporado: no estudo de caso pode envolver mais de uma unidade de análise;

- Enfoque holístico: busca examinar apenas a natureza global de um programa ou da organização.

Os casos únicos têm obstáculos, apresentam muitos limites para generalizações nas conclusões, dificultam o desenvolvimento de modelos e teorias a partir de um exclusivo caso (VOSS *et al.*, 2002).

Nesse sentido afirma, a “seleção de casos é um aspecto importante na construção da teoria do estudo de caso e estes podem ser escolhidos para replicar casos anteriores ou prorrogar uma teoria emergente, ou podem ser escolhidos para preencher categorias teóricas e fornece exemplos de tipos polares” (EISENHARDT, 2008).

Para o desenvolvimento da teoria, cada caso deve ser selecionado visando a prever resultados semelhantes (replicação literal); - Produzir resultados contrários, mas por razões previsíveis no princípio da investigação (replicação teórica). (VOSS *et al.*, 2002; YIN, 2015).

Esta dissertação compreende os seguintes procedimentos técnicos:

Pesquisa bibliográfica: a partir da identificação do tema do trabalho, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, sobre TRF ou SMD por meio de consulta a livros, jornais, anais de congressos, dissertações e teses defendidas, periódicos nacionais e internacionais, bases de dados da CAPES e outros tais como: SpringerLink (link.springer.com/), Science Direct (sciencedirect.com), Web of Science (webofknowledge.com), Scielo (www.scielo.br), Scopus (scopus.com.br) Wiley (onlinelibrary.wiley.com), Google acadêmico, dentre outros. Com objetivo de identificar o estado da arte utilizou-se o software EndNote versão 7[®] como ferramenta de manipulação e organização da pesquisa.

Levantamento: o trabalho também envolve vários levantamentos de dados junto a empresa pesquisada para identificar as oportunidades de redução do custo de setup

Seleção do objeto de análise: O trabalho foi aplicado em uma empresa industrial de fabricação no Polo Industrial de Manaus.

Coleta e Análise dos dados: Os dados foram coletados através da análise do processo e entrevistas. A entrevista será a semi-estruturada e o roteiro cuja atenção tem sido dada à formulação de perguntas que seriam básicas para o tema a ser investigado (TRIVIÑOS, 1987; MANZINI e BONATO, 2008). O foco principal seria colocado pelo pesquisador-entrevistador. Complementa o autor, afirmando que a entrevista semiestruturada “[...] favorece não só a descrição dos fenômenos sociais, mas também sua explicação e a compreensão de sua totalidade [...]” além de manter a presença consciente e atuante do pesquisador no processo de coleta de informações (TRIVIÑOS, 1987).

4.3 - FERRAMENTA A SER UTILIZADA NA OBTENÇÃO DOS DADOS DA FORMATAÇÃO DA PESQUISA

A ferramenta escolhida para de gestão deste trabalho foi o PDCA utilizado no controle de qualidade pelos japoneses (YUAN *et al.*, 2013; TAYLOR *et al.*, 2014; AUER, 2015), e suas fases são as seguintes:

- Planejar: Determinar analítica e quantitativamente quais são os problemas chave em um processo ou atividades existentes e como eles poderiam ser corrigidos;
- Executar: Implementar o plano;
- Verificar: Confirmar quantitativamente e analiticamente que o plano funciona e resulta em melhor desempenho;
- Atuar: Modificar o processo anterior adequadamente, documentar o processo revisado e utilizá-lo de forma padronizada.

Na constatação do problema utilizou-se indicadores de desempenho de diversas áreas, onde apontou a área de ferramentaria como não conforme e possível de melhoria. Através do diagrama de Pareto que é um gráfico de colunas que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas, procurando demonstrar o princípio de Pareto (80% das consequências advêm de 20% das causas), isto é, há muitos problemas sem importância diante de outros mais graves. Sua maior utilidade é a de permitir uma fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a concentração de esforços sobre os mesmos.

4.4 - SISTEMA DE ANÁLISE E MELHORIA DE PROCESSOS (SAMP)

Nesta fase, entra-se com os dados de medição que tem sido utilizado nas mais diferentes maneiras. A decisão de acompanhar e equilibrar ou não um processo de fabricação que é baseada nas medições de variadas etapas de determinado processo. Dados de medição ou dados derivados destes são comparados aos limites de Controle Estatístico do Processo. Caso esta comparação indicar que o processo está fora do controle estatístico, algum tipo de ajuste deverá ser feito. Caso contrário, o processo poderá prosseguir sem ajustes.

Melhorar os processos da organização é fator crítico para o sucesso institucional de qualquer organização, seja pública ou privada, desde que realizada de forma sistematizada e que seja entendida por todos na organização. Das diversas metodologias existentes, destaca-se a ferramenta MAMP – Método de Análise e Melhoria de Processos, como tendo a aplicação mais simples. O MAMP é um conjunto de ações desenvolvidas para aprimorar as atividades executadas, identificando possíveis desvios, corrigindo erros, transformando insumos em produtos, ou serviços com alto valor agregado. O MAMP segue os mesmos princípios do MASP – Metodologia de Análise e Solução de Problemas, que propicia a utilização das ferramentas de solução de problemas nas organizações de forma ordenada e lógica, facilitando a análise de problemas, determinação de suas causas e elaboração de planos de ação para eliminação dessas causas. A vantagem da utilização do MAMP é que o primeiro passo já envolve a quebra de um paradigma gerencial, instituindo o gerenciamento de processos como ponto de partida. A abordagem das duas metodologias é bastante similar. Ainda nesta fase, contempla-se o estudo do tempo padrão que é um recurso que permite analisar e identificar a capacidade produtiva de um processo levando em consideração uma série de aspectos presentes na rotina de trabalho e que têm um grande impacto no tempo necessário para fabricação ou *setup* de uma linha de produção. Analisar este impacto torna-se imperativo em análises de capacidade de produção, tempo planejado de operação.

4.5 - TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA (TRF)

TRF pode ser descrita como uma metodologia para redução dos tempos de preparação de equipamentos, possibilitando a produção econômica em pequenos lotes. A utilização da TRF auxilia na redução dos tempos do processo (*lead time*), possibilitando a empresa resposta rápida diante das mudanças do mercado. Outra vantagem da TRF é a produção econômica de pequenos lotes de fabricação, o que geralmente exige baixos investimentos no processo produtivo (SHINGO, 1985). Além disso, a TRF reduz a incidência de erros na regulagem dos equipamentos.

4.6 - CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

Todos os grupos da organização (qualidade, técnico, ferramentaria, liderança, novos modelos, produção) foram envolvidos na operação de troca de molde utilizando a nova placa extratora unificada. Nesta fase, todos os testes e resultados foram apurados. Algumas das técnicas e métodos empregados foi o estudo do processo do *setup*, a de documentar as operações de *setup* atual, separar o *setup* interno e externo.

Quanto aos fins, o tipo de pesquisa utilizada pode-se classificar como aplicada por ser motivada pela necessidade de resolver problemas concretos. Quanto aos meios, o tipo de pesquisa é bibliográfica e estudo de caso, pode ser um estudo sistematizado desenvolvido com base em material já publicado e por ser circunscrito, a uma pessoa, ou empresa, tem caráter de profundo detalhamento e pode ser no campo ou não (VERGARA, 2000).

4.7 - ALGUMAS ABORDAGENS SIMPLES PARA REDUZIR O TEMPO DE SETUP

Tem várias abordagens que podem reduzir o tempo de setup:

1. Medir indicadores-chave para determinar de como o progresso está sendo feito:
 - WIP atual (medido em termos de Reais ou peças totais);
 - Tempo de espera (*lead time*) médio atual (em dias);
 - Tempos de set-up médios (em minutos) de 20% (vinte por cento) piores de todas as máquinas / processos;
 - Número médio de pedidos atrasados em qualquer ponto no tempo.

2. Implementar um projeto de redução de setup na máquina ou processo que provoca o maior gargalo. Seu objetivo inicial é reduzir o tempo de setup em 50 por cento, sem gastar dinheiro.

Uma vez que você reduziu o tempo de setup desse gargalo em cerca de 25% (vinte e cinco por cento), começar a reduzir os tempos de preparação nos próximos 2-5 piores processos ou máquinas. Novamente, o objetivo inicial é reduzir o tempo de setup em 50% (cinquenta por cento) em cada máquina sem gastar dinheiro.

Quando você tiver concluído estes projetos de redução de setup, reduzir o tamanho dos lotes em pelo menos 25% (vinte e cinco por cento) em toda a linha.

Neste ponto, os tempos de entrega devem ter-se reduzido em 25% (vinte e cinco por cento), e ordens atrasadas provavelmente não vão existir. WIP também é abaixo de 25% (vinte e cinco por cento), juntamente com os custos de inventário contábil. Rever o seu gargalo inicial. Há algumas outras ideias sugeridas para reduzir ainda mais o tempo de setup com investimentos de pequeno capital? Se assim for, implementá-las e reduzir ainda mais o tamanho dos lotes. Se não, investigar outras maneiras de aumentar a produtividade dessa máquina.

Logo que a unidade estiver funcionando sem problemas com uma redução de 25% (vinte e cinco por cento) do WIP, reduzir o tamanho dos lotes para mais 25% (vinte e cinco por cento). Outros problemas virão à luz e expor oportunidades adicionais de melhoria, porque grandes tamanhos de lote pode mascarar problemas de qualidade, tempo de máquina parada, escassez de material e outras preocupações. Abordar estas questões que possam surgir e continuar a reduzir o tamanho dos lotes. Lembrar que a redução de setup é uma atividade de melhoria contínua.

Muitas empresas consideram que os tempos de preparação podem ser reduzido a menos de 30 minutos sem um investimento significativo. As metas de tempo de setup para muitos fabricantes de classe mundial são de 10 minutos ou menos.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA DO ESTUDO DE CASO

A fabricação de alumínio é um processo complexo, da compra da matéria-prima à distribuição para o cliente. Todas as etapas exigem um compromisso dedicado e inabalável quanto a excelência na fabricação para assegurar o produto perfeito que os nossos clientes esperam de nós.

As características dos produtos finais são o resultado de parâmetros específicos, como a composição química da liga, processamento térmico/recozimento e a quantidade de encruamento presente na bobina acabada. Modificações nesses fatores críticos irão criar a variedade de ligas e têmperas que estão comercialmente disponíveis.

A empresa do estudo de caso é uma empresa que trabalha EM 3 turnos especiais – 6 dias/semana e tem 34 funcionários. As principais atividades são de suporte na produção de peças por alta pressão no setor de fundição, nomeado como DC, ou Fundição com resfriamento direto.

Na fundição com resfriamento direto, o metal é derretido em uma fornalha e, em seguida, tratado em um processo de duas etapas para remover quaisquer gases e partículas não metálicas microscópicas. A fornalha é inclinada e o metal derretido é colocado em uma unidade de fundição resfriada a água. À medida que o metal flui para os moldes, ele é resfriado por jatos de água fria bombeada em torno e através da base do molde. O lingote se solidifica gradualmente durante o processo de fundição, que leva aproximadamente três horas.

A Fundição DC: é o setor responsável pela fabricação de peças de alumínio sob pressão com sistema de câmara fria. Na Figura 5.1 se mostra o sistema de fundição DC do estudo de caso.

A planta conta com 12 injetoras de alumínio, 8 de 650 toneladas e 4 de 800 toneladas. As máquinas injetoras M9, M11, M12 e M8 são de 800 tons e as outras de 650 tons.

A empresa se ocupa da produção de partes e componentes para a indústria de duas rodas do Polo Industrial de Manaus. Entre elas ficam as carcaças das motos KRM, KGA GFPA e KSS.



Figura 5.1 - Sistema de fundição do setor DC da planta do estudo de caso.

Primeiramente foi feita uma análise do C.Q.D.M.S.E (Custo, Qualidade, Logística, Segurança, Mão de obra, e Meio Ambiente) do setor da fundição nos meses de janeiro e fevereiro de 2014, foram avaliados todos esses itens. Na Figura 5.2 se oferece a análise do C.Q.D.M.S.E da empresa do estudo de caso. Na figura o custo se expressa em reais por ano, a mão de obra em quantidade de funcionários, a Qualidade em reais por Milhares de Carcaças inutilizadas, a segurança em quantidade de acidentes, a logística em % de parada de máquinas e o meio ambiente no custo energético em kW por Milhares de Carcaças

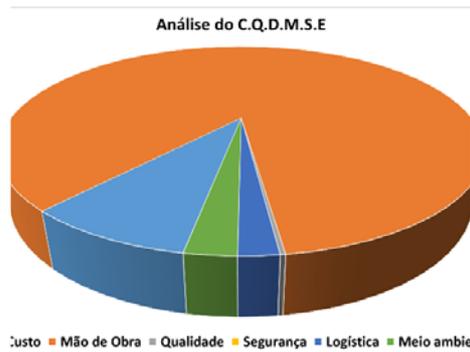


Figura 5.2 - Análise do C.Q.D.M.S.E da empresa do estudo de caso.

Da análise pode-se notar que o custo, mão-de-obra, segurança e meio ambiente estavam dentro dos padrões estabelecidos. Já nos itens qualidade e logística estavam em não conformidades, com isto foi decidido abordar o item de maior relevância para o setor que é a parada de máquina.

5.2 - TEMPO DE MÁQUINA PARADA NA FUNDIÇÃO

Foi feita uma análise da origem destas paradas na fundição e se verificou que somente os problemas elétricos e mecânicos representavam um total de 42% de todas estas paradas, e também se planejou um plano de ação desenvolvido em parceria da manutenção com a produção que já está em andamento para atacar estes problemas por máquina (ver Figura 5.3).

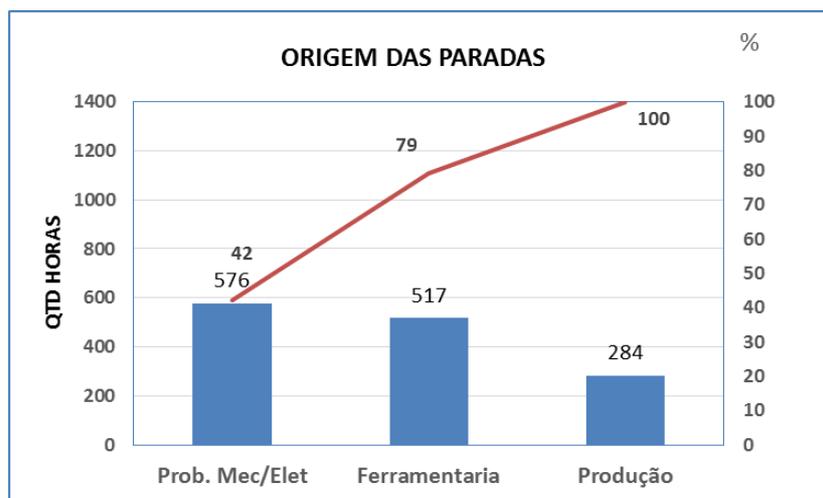


Figura 5.3 - Origem das diferentes paradas na fundição.

Depois foi analisado o 2º maior índice de paradas que eram problemas de ferramentaria que representava 37% de todas estas paradas. Dando continuidade ao procedimento, foram então selecionadas as 8 piores paradas de máquinas por motivo de ferramentaria, e foi verificado que a troca de molde representava 35% destas paradas (ver Figura 5.4).

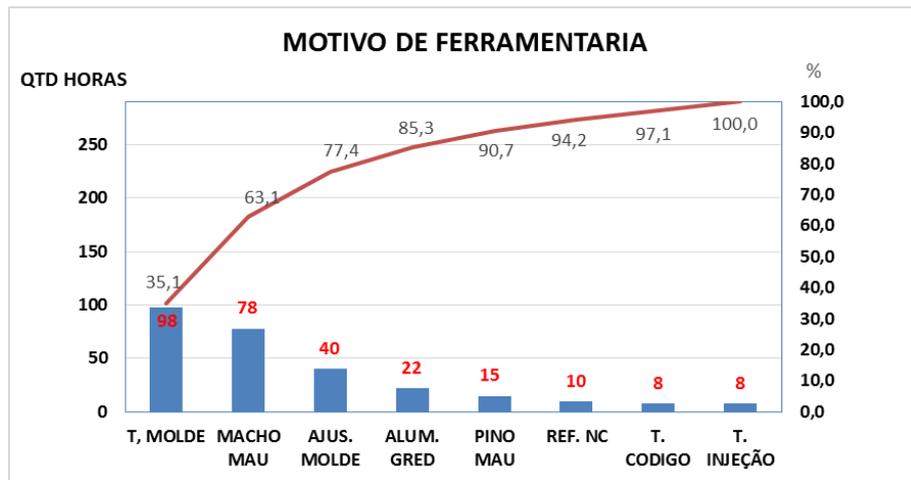


Figura 5.4 - As 8 piores paradas de máquinas por motivo de ferramentaria, sendo a troca de molde a pior de todas.

Posteriormente foram analisadas os tempos de setup por máquina e qual era a meta desejada pela empresa.

A meta setorial desejada para 2014 foi de apenas 20 minutos por setup (NISHIDA, 2005), sendo que apenas as máquinas 1,2 e 4 estão dentro da meta (conforme a Figura 5.5).

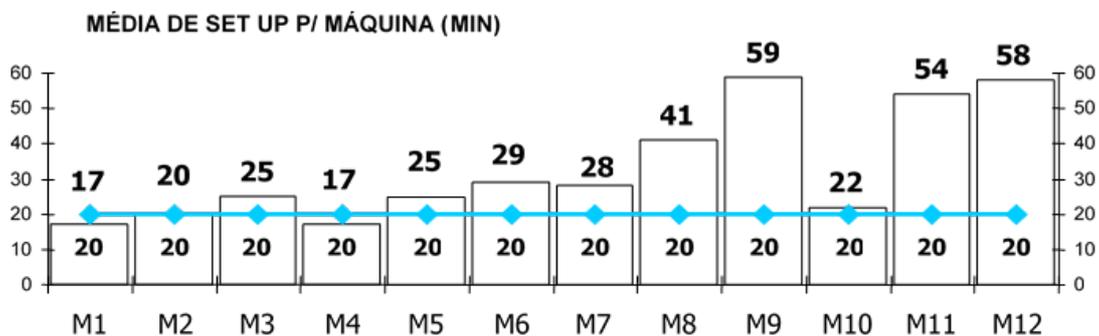


Figura 5.5 - Tempos de setup das diferentes máquinas com relação à média.

5.3 - SELEÇÃO DAS PIORES MÁQUINAS PARA O ESTUDO DE CASO

Mediante o estudo da situação real da empresa optou-se por seleccionar ás 4 piores máquinas (8,9,11 e 12) todas máquinas de 800 toneladas, com média de 53 minutos por setup, equivalente a 165 % acima da meta, daí que o esforço se concentrou na redução do tempo de setup nas injetoras de 800 toneladas (ver Figura 5.6).

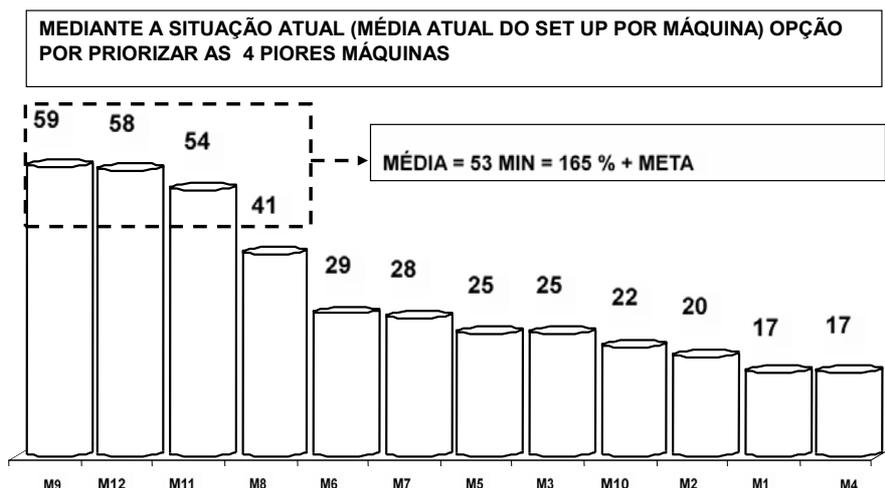


Figura 5.6 - Tempos de setup das diferentes máquinas agrupando as piores máquinas.

Para fazer uma análise mais completa da situação real, se verificou o fluxo do processo produtivo na fundição DC que inicia-se com o recebimento do alumínio, armazenamento, transporte e abastecimento do alumínio para as máquinas injetoras no setor de produção onde ocorre o problema, passando para o setor de acabamento, tratamento térmico e seguindo para o cliente interno que é o setor de usinagem.

Diariamente é gerado um plano de produção para fundição DC, que indica a quantidade e o modelo das peças a serem produzidas em cada uma das 12 máquinas injetoras, desta forma, ao final da produção, se faz necessário a realização da troca do molde (setup). Como por exemplo, os moldes que são atualmente utilizados nas máquinas de 800 toneladas, sendo eles (carcaça direita e esquerda KRM, carcaça direita e esquerda KGA, carcaça direita e esquerda KSS, carcaça direita e esquerda GFPA).

Fazendo uma análise do processo de produção e verificando os detalhes do processo do setup em minutos, o grupo identificou que o processo de troca da 3ª placa extratora representa 38% do tempo total do setup. Na Figura 5.7 é oferecida uma análise do

tempo de setup das diferentes operações, onde se destaca que a troca da placa extratora consome 20 minutos (38%) do tempo total de setup que é de 53 minutos.

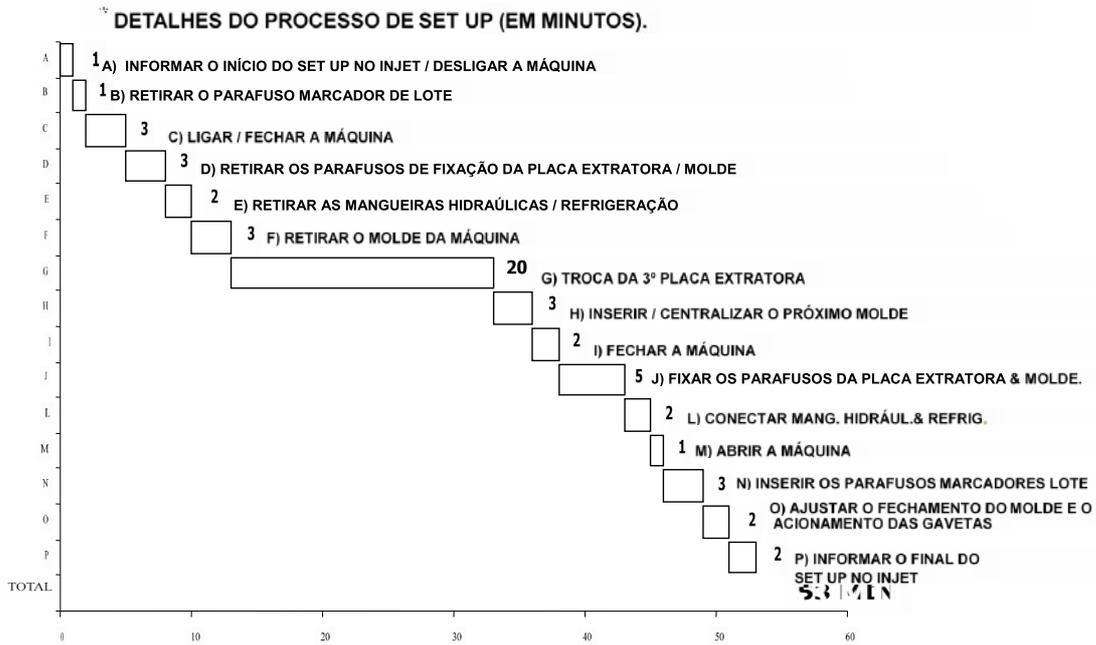


Figura 5.7 - Tempo de Setup das diferentes operações.

5.4 - DESCRIÇÃO DA TERCEIRA PLACA EXTRATORA E DO PROCESSO DE SUBSTITUIÇÃO DA MESMA

A terceira placa extratora é uma base intermediária utilizada para fixação das placas extradoras do molde com a placa extratora da máquina ver Figura 5.8

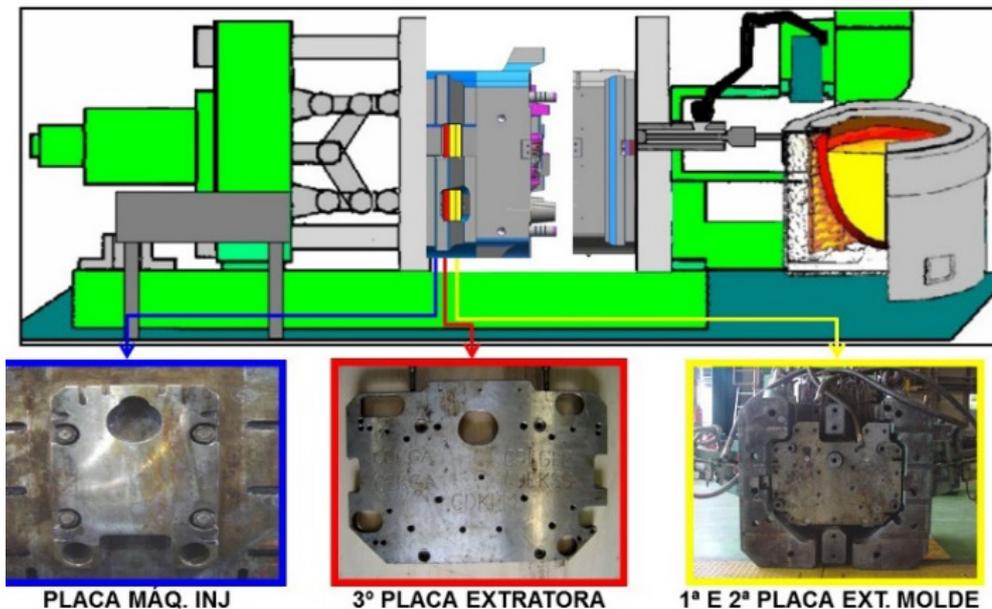


Figura 5.8 - Detalhe das diferentes placas da máquina de injeção.

O processo de substituição da terceira placa extratora é oferecido de maneira resumida na Figura 5.9 e seguindo os seguintes passos:

1. Primeiro, são retirados os parafusos de fixação da terceira placa extratora;
2. Segundo, é retirada a terceira placa extratora da máquina;
3. Terceiro, se realiza a troca da 3ª placa extratora;
4. Quarto, se posiciona a terceira placa extratora na máquina;
5. Quinto, é realizada a fixação dos parafusos;
6. Sexto, realiza se o fechamento da barra guia da máquina injetora;
7. São fixadas as quatro placas extratoras com 4 parafusos.

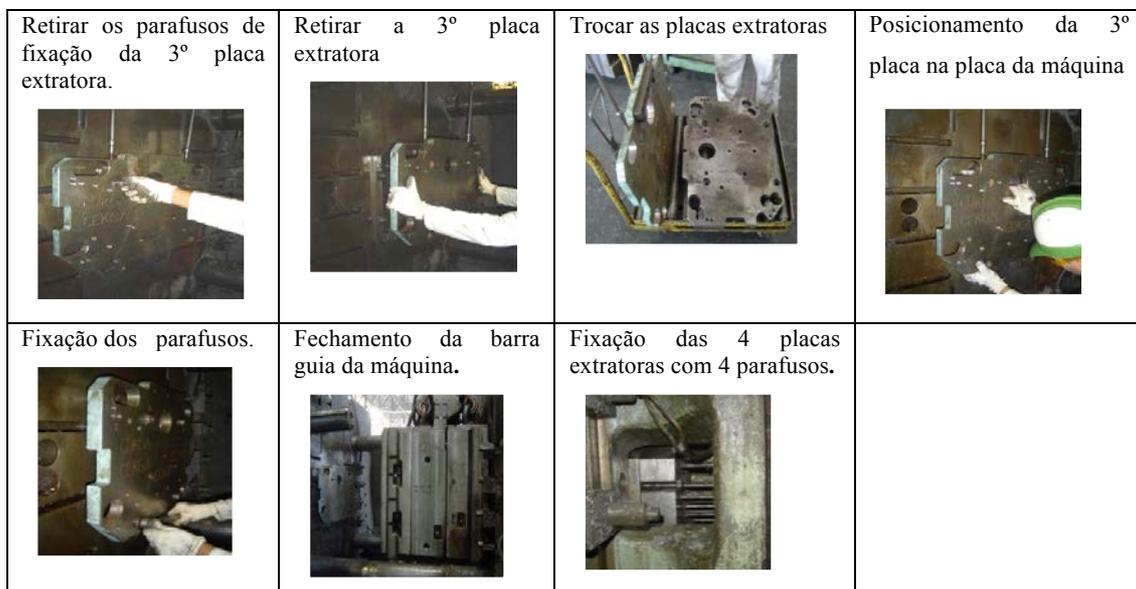


Figura 5.9 - Processo de substituição da terceira placa extratora.

5.5 - FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DE INJEÇÃO

Durante o processo produtivo, as 4 placas extratoras são movimentadas simultaneamente durante a extração da peça na máquina injetora. É necessário trocar a placa extratora devido as diferenças no projeto de cada molde, conforme a peça a ser fundida, uma vez que tem diferenças no posicionamento dos furos guias da coluna e no posicionamento dos furos de fixação da placa, e outras diferenças. Na Figura 5.10 é oferecido o detalhe das diferentes placas extratoras conforma peça a ser fundida

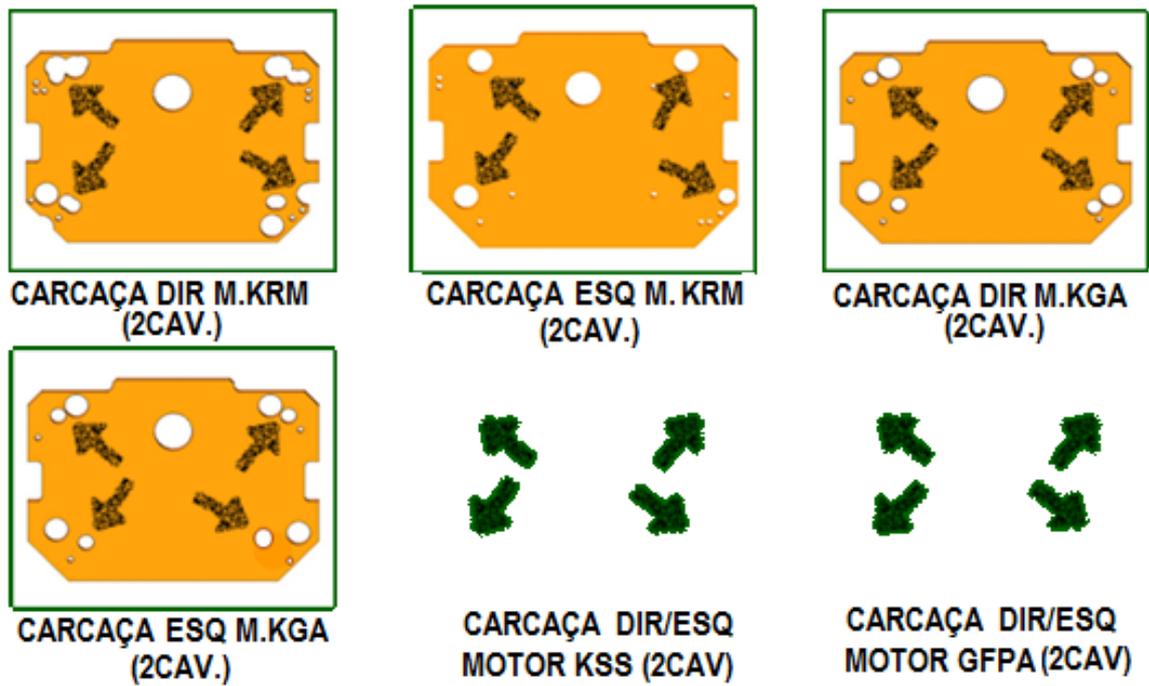


Figura 5.10 - Detalhe das diferentes placas extratoras conforma peça a ser fundida.

5.6 - ANÁLISE DO CUSTO DE SETUP NAS INJETORAS DE 800 TONELADAS

Na Figura 5.11 é mostrada uma análise da quantidade de setup ao mês das diferentes máquinas injetoras de 800 toneladas que como foi apontado anteriormente são as que maiores paradas têm no processo produtivo. Na Figura 5.12 se oferece o custo do tempo mensal de setup.

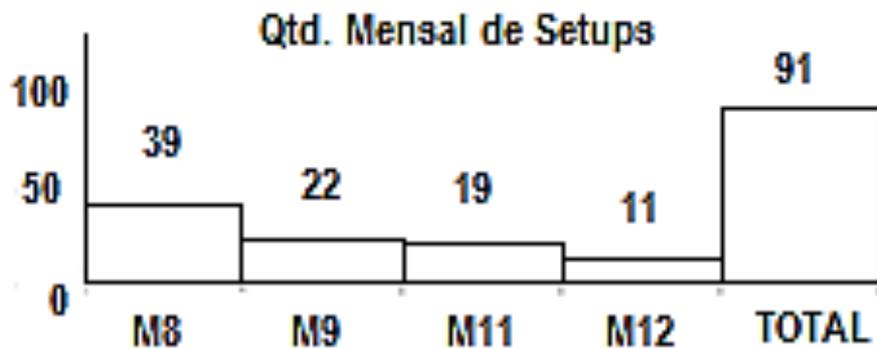


Figura 5.11 - Quantidade mensal de setups nas injetoras de 800 tons.

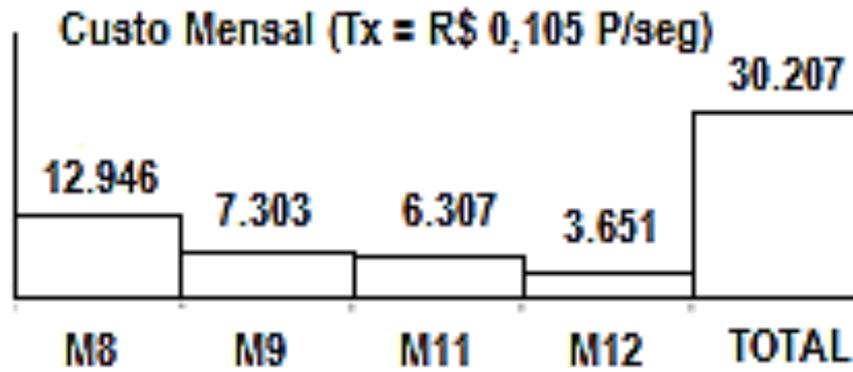


Figura 5.12 - Custo do tempo mensal de setup.

Avaliando a quantidade mensal do setup, nas injetoras, contabilizado um total de 91 trocas por mês, com um tempo mensal de máquina parada de 4.823 minutos, gerando um custo mensal em tempo de 30.207 minutos.

Além do tempo de setup e o seu custo, deverá ser levado em conta também o custo da aquisição da terceira placa para as diferentes carcaças. Cada um destes moldes possui 2 placas, sendo um para o molde reserva e outro para o molde principal, somando um custo anual de R\$ 38.932,00.

Na Figura 5.13 se oferece o custo anual de inversão para comprar as placas extratoras

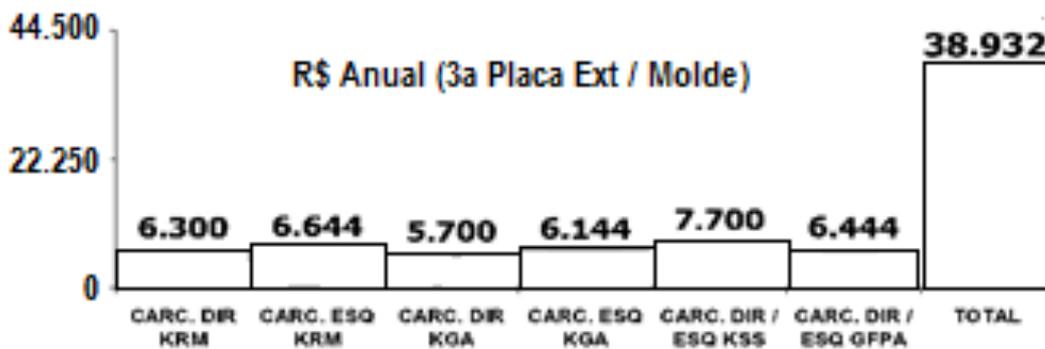


Figura 5.13 - Custo anual de inversão para comprar as placas extratoras.

A análise do custo anual, encontrou a seguinte situação: O custo total com máquina parada de 362.482 que somado com o custo para aquisição destas placas totalizando R\$ 401.416,00 (quatrocentos e um mil quatrocentos e dezesseis Reais).

5.7 - DIAGRAMA 4MS

Passando para análise das causas, foi utilizado o diagrama de 4 m's, e foi verificado que os itens máquina, método e mão de obra, estavam ok, porém no item material estava não conforme, devido as diferenças nas placas de cada molde, daí foi concluído que o tempo elevado dos set up's nas injetoras de 800 ton's, é ocasionado pela necessidade de se trocar a 3ª placa extratora, devido as diferenças no projeto de cada molde (ver Figura 5.14).

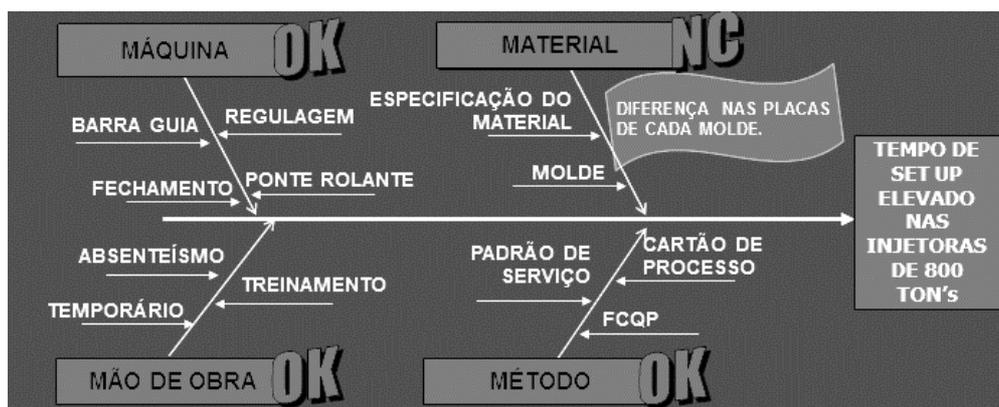


Figura 5.14 - Diagrama 4MS.

O diagrama reafirma o que já era sabido do processo, no qual o tempo elevado dos setups nas injetoras de 800 ton's é ocasionado pela necessidade de se trocar a 3ª placa extratora, devido as diferenças no projeto de cada molde.

Para conseguir reduzir o tempo de parada foi analisado que o tempo médio de parada devido poderia se reduzir em uns 10% (dez por cento), levando o tempo de parada atual de 53 a 48 minutos (DESAI, 2012; SHARIFI *et al.*, 2012; ALMOMANI *et al.*, 2013).

5.8 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para reduzir o tempo de setup foram propostas e analisadas uma série de medidas como se mostra na Tabela 5.1;

A primeira solução proposta, foi eliminar a utilização da 3º placa extratora. Havia a ideia objetiva em fixar as placas extratoras do molde, direto na placa da máquina, eliminando a utilização da 3ª placa extratora. Nesta proposta se tem como mérito a

redução no tempo de parada de máquina e como demérito o retorno excessivo da placa extratora durante o fechamento do molde deixando a altura dos pinos extratores fora do padrão, e a peça NC (não conforme), necessitando assim trocar todos os pinos extratores dos moldes, desta forma o laudo da proposição foi de não conformidade.

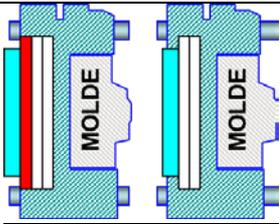
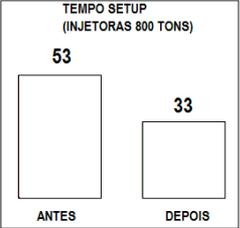
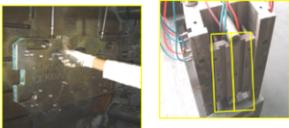
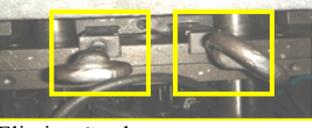
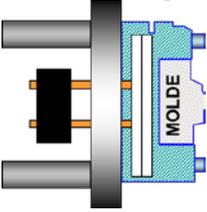
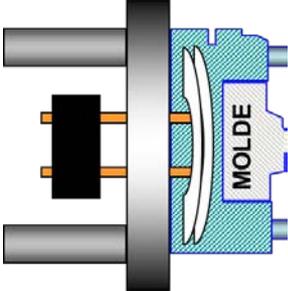
Depois, foi analisada a 2ª solução proposta, que é mudar o sistema de fixação da 3ª placa extratora. Se desejava como objetivo substituir os parafusos atualmente utilizados pelo sistema de réguas, sendo conseguido como mérito a eliminação do processo aperto dos parafusos, devido prender as placas extratoras com 2 réguas.

Como demérito se observa que durante o setup, as 2 réguas ficavam presas no alojamento da placa extratora do molde, aumentando o tempo de máquina parada; desta forma o laudo foi não conforme.

Então foi analisada a 3ª solução proposta, que é substituir a 3ª placa extratora por eixos “empurradores”, e o objetivo era fixar as placas extratoras do molde, com 2 eixos empurradores, presos na base interna da máquina, essa proposta tinha como mérito a eliminação do processo aperto dos parafusos, devido prender as placas extratoras com 2 réguas, e, como demérito, que as placas extratoras do molde empenavam, devido a ação dos empurradores estarem concentrados justamente no centro das placas do molde, desta forma o laudo foi não conforme.

Mas, como o grupo de pesquisa não queria desistir de seus objetivos, foi traçada então a 4ª proposta, que é a unificação dos projetos das placas extratoras, com o objetivo de ajustar as placas extratoras para unificação dos modelos, conforme a necessidade de cada molde. O mérito desta proposta é a eliminação do processo de troca da 3ª placa extratora e a mesma não tem demérito. Desta forma essa foi a proposta selecionada e se conclui que este laudo estava conforme!

Tabela 5. 1 - Propostas para resolver o Problema e diminuir o tempo de setup das injetoras de 800 toneladas.

Proposta	OBJETIVO	Vantagens	Desvantagens
Eliminar a utilização da 3ª placa extratora	Fixar as placas extratoras do molde, direto na placa da máquina, eliminando a utilização da 3ª placa extratora.	Redução no tempo da máquina parada	Retorno excessivo da placa extratora durante o fechamento do molde deixando a altura dos pinos extratores fora do padrão, e a peça NC, necessitando assim trocar todos os pinos extratores
	 <p>Antes Depois</p>	 <p>ANTES DEPOIS</p>	
Mudar o sistema de fixação da 3ª placa extratora.	 <p>Antes Depois</p> <p>Substituir os parafusos atualmente utilizados pelo sistema de "reguas"</p>	 <p>Eliminação do processo aperto dos parafusos, devido ao prendimento das placas extratoras com 2 réguas</p>	 <p>Durante o set up, as 2 réguas ficavam presas no alojamento da placa extratora do molde, aumentando o tempo de máquina parada.</p>
Substituir a 3ª placa extratora por eixos "empurradores"	Fixar as placas extratoras do molde, com 2 eixos empurradores, presos na base interna da máquina	Eliminação do processo de troca da 3ª placa extratora	As placas extratoras do molde empenam, devido a ação dos empurradores estarem concentrados justamente no centro das placas do molde
			
Unificação dos projetos das placas extratoras	 <p>Ajustar as placas extratoras para unificação dos modelos, conforme a necessidade de cada molde.</p>	 <p>Eliminação do processo de troca da 3ª placa extratora.</p>	

5.8.1- Detalhes da melhoria

Na Figura 5.15 são oferecidos os detalhes da melhoria que são os seguintes:

- a. Ajuste no alojamento da coluna (atual= \varnothing 60mm p/ 116mm).
- b. Confeção de novos furos para fixação da placa c/ rosca m16.
- c. Confeção de 01 novo furo para alojamento da coluna do molde com \varnothing 22,5mm.
- d. Redução do chanfro (atual de 100mm p/ 80mm)
- e. Aumento do diâmetro do furo da coluna central (atual 95mm p/ 125 mm)
- f. Confeção de furo p/ alojamento da coluna das carcaças KRM (\varnothing 60 mm).
- g. Prolongamento do rasgo lateral.
- h. Rebaixo de 18mm na parte lateral inferior da placa.
- i. Ajuste no alojamento da coluna (atual= \varnothing 60mm p/ 85 mm).



Figura 5.15 - Etapas do projeto da melhoria.

Na Figura 5.16 se mostra a Terceira placa extratora Unificada.

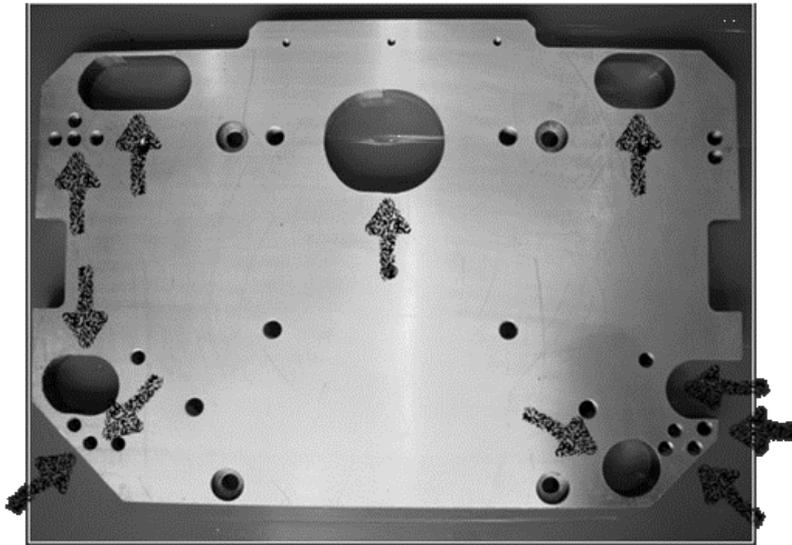


Figura 5.16 - Terceira placa extratora Unificada.

Avaliando a viabilidade da implantação, foi verificado que na situação anterior utilizava-se 2 placas extratoras para cada molde totalizando 12 placas extratoras no setor, com um custo total de 38.932 reais, sendo que na situação proposta seriam necessárias apenas 4 placas, uma para cada máquina injetora, com um custo de apenas 14.789 reais, gerando assim uma economia significativa de 24.143,12 reais

5.8.2- Dificuldades de implantação e soluções

Mas como todo trabalho, foram encontradas dificuldades para implantação, pois durante o processo produtivo o parafuso de fixação da 3ª placa extratora desprendia-se da porca alojada na placa da máquina, e o grupo tomou algumas medidas como a substituição dos parafusos “sextavados” pelo modelo ptb c/ cabeça formato “t” retangular p/ ser alojado na placa da máquina, e na segunda solução foram confeccionados 4 rebaixos na placa extratora para alojar a porca (Figura 5.17).

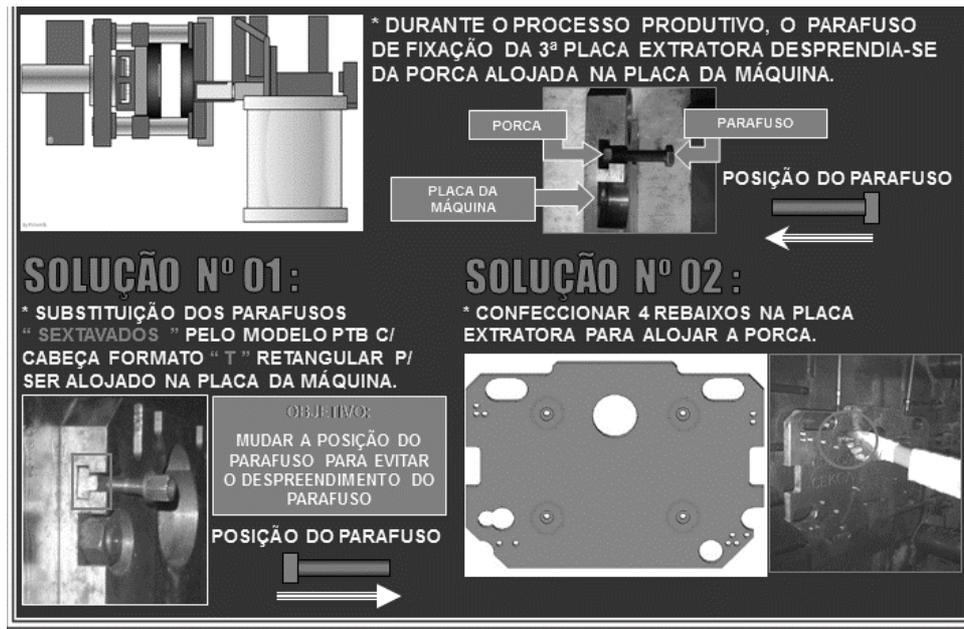


Figura 5.17 - Dificuldades de implantação e soluções.

5.8.3- Benefícios e ganhos obtidos

Depois das medidas proposta e adotadas foram reavaliados os detalhes do processo de setup, (em minutos) o grupo observou que foi eliminado o processo de troca da 3ª placa extratora e o tempo de setup passou de 53 a 33 minutos (ver Figura 5.18).

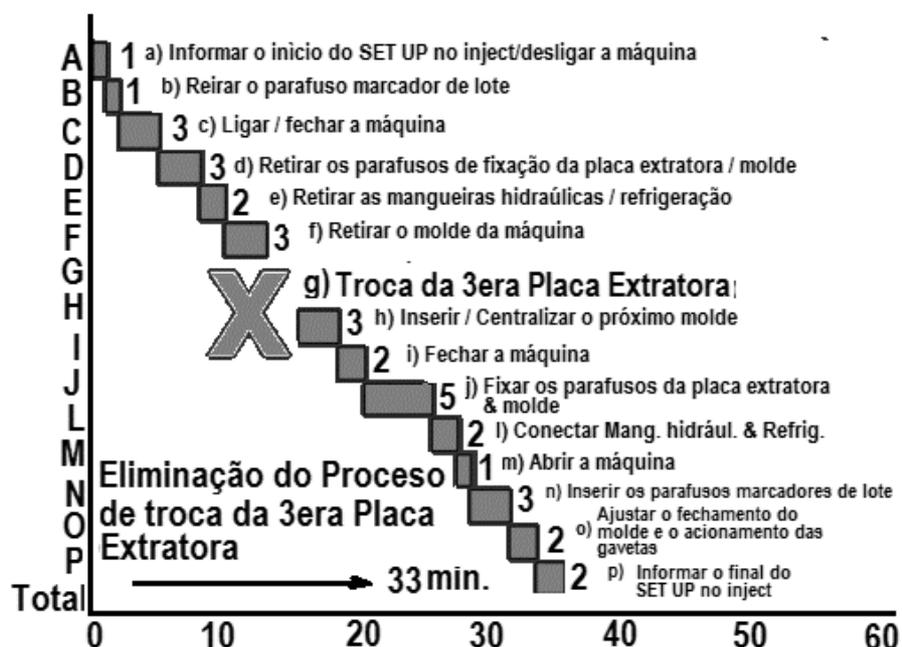


Figura 5.18 - Detalhes do processo de setup depois das melhorias.

Na Figura 5.19 são oferecidos os tempos de setup das injetoras de 800 toneladas depois das modificações da terceira placa extratora.

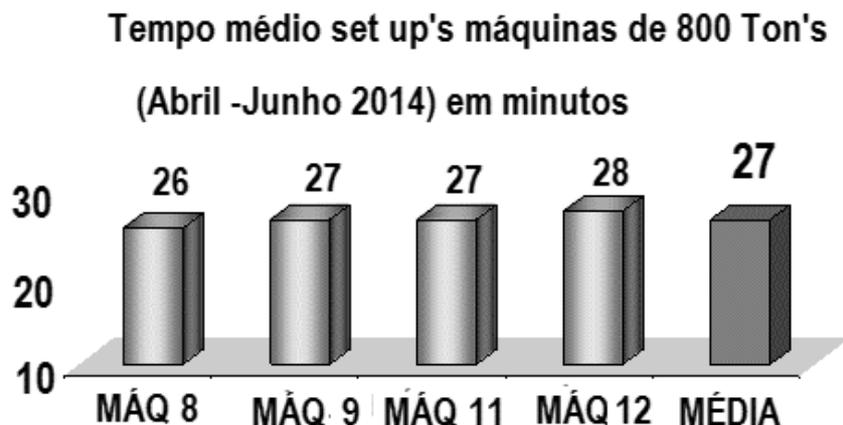


Figura 5.19 - Tempos de setup das injetoras de 800 toneladas depois das modificações da terceira placa extratora.

Como se pode ver a média atual do setup depois da implantação do trabalho é de 27 minutos.

Na Figura 5.20 se oferece uma comparação com o que acontecia, com a meta e com o atingido

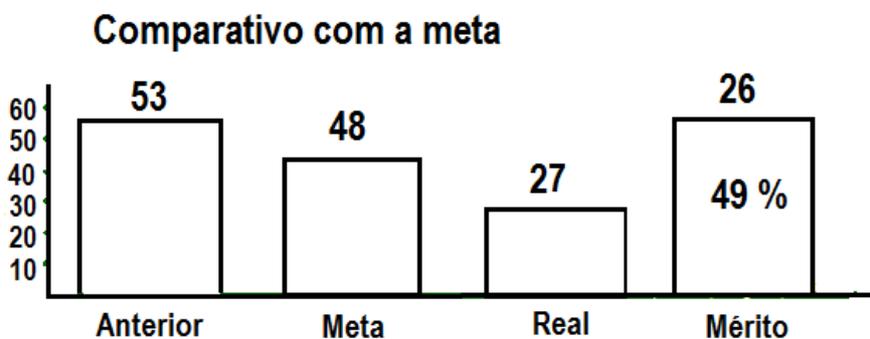


Figura 5.20 - Comparação do tempo de setup com o que acontecia, com a meta e com o atingido.

A média atual do setup após a implantação do trabalho ficou em 27 minutos, mas para melhor entendimento foi realizado um comparativo com a meta, pois na situação anterior o tempo era de 53 minutos. Com a meta de 48 minutos, foi conseguido reduzir para 27 minutos, uma diferença de 26 minutos, gerando assim uma redução de 49 %, atingindo assim a meta. Os ganhos por máquina não parada também foram significativos com um grande ganho. Na Figura 5.21 se oferecem os ganhos por

Máquina não Parada (redução do tempo mensal de máquina parada) Aumento da produtividade.

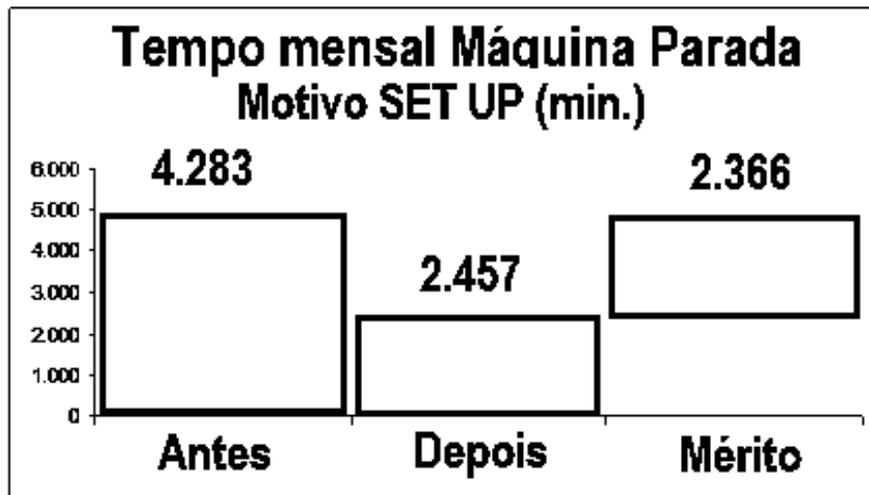


Figura 5.21 - Máquina parada X Produtividade.

Da Figura anterior se pode apreciar que tem um ganho de 2.366 minutos = 141.960 segundos que dividido pelo ciclo médio de 45" são 3.154 PÇS X 2 CAV = 6.308 PÇS / MÊS = 75.696 PÇS / ANO

Nas Figuras 5.22 e 5.23 se mostram a diminuição das perdas em reais por máquina parada e o ganho em reais nas placas extratoras

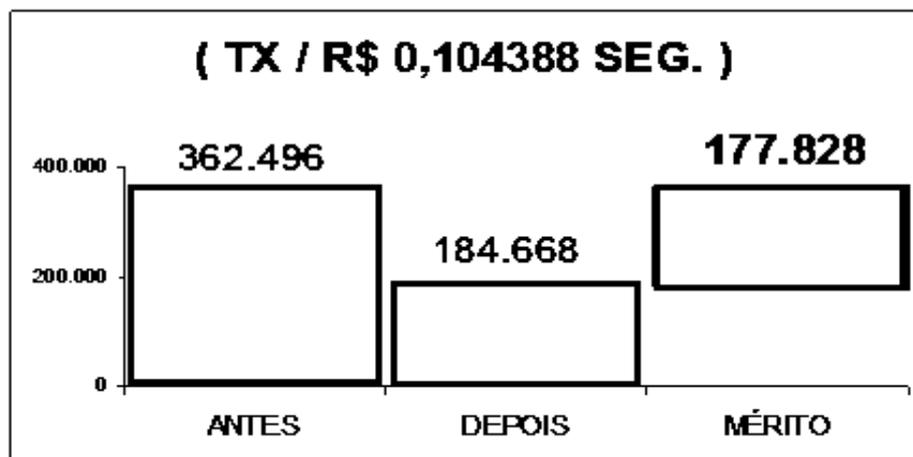


Figura 5.22 - Reais por máquina parada.

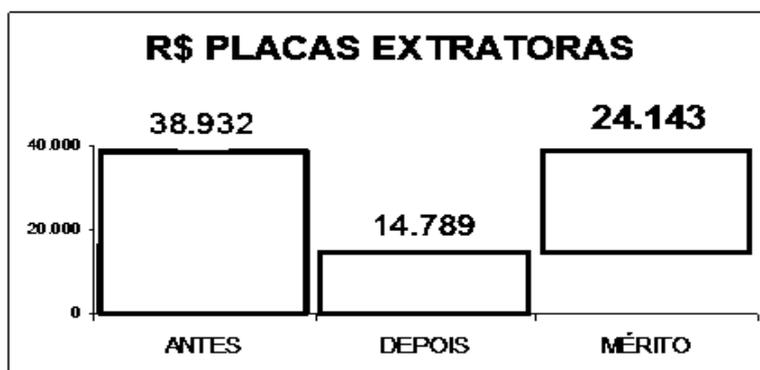


Figura 5.23 - Ganho em reais nas placas extratoras.

Foi obtido uma redução de 2.366 minutos no tempo de máquina parada, gerando assim um ganho de produção de 75.696 pçs por ano, e conseqüentemente uma redução nos custos gerando uma economia de 177.828 reais, lembrando também que foi obtido uma economia na aquisição das placas extratoras, na ordem de 24.143 reais.

O custo total que era de 401.416 reais foi reduzido para 199.457 reais, gerando assim uma economia anual de 201.971 reais, equivalente a 50.31 % de redução (ver Figura 5.24).

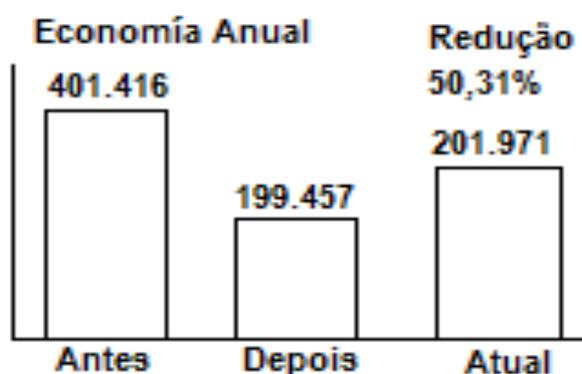


Figura 5.24 - Redução do custo total.

O resultado proposto neste estudo de caso obteve a seguinte conclusão;

- 1 - A média atual do setup em termo de tempo caiu de 53 (cinquenta e três) minutos para 27 (vinte e sete) minutos, com ganho de 26 (vinte e seis minutos) acima da meta que era de 48 (minutos), uma redução de percentual de 49% (quarenta e nove por cento), média superior a meta que era de 10 (dez por cento);
- 2 - Economia anual de R\$ 201.971,00 (duzentos e um mil, novecentos e setenta e um Reais), acima da meta que era de R\$ 199.457,00 (cento e noventa e nove mil,

quatrocentos e cinquenta e sete Reais) cujo percentual de ganho foi de 50,31% (cinquenta virgula trinta e um por cento);

3 - Redução do índice de afastamento dos colaboradores no setor de Fundação DC, devido a doenças ocupacionais do tipo “DORT”, causadas pelo esforço repetitivo, ou manuseio de peças pesadas, uma vez que a 3ª placa extratora substituída no processo possui um peso de 75 kg (setenta e cinco quilogramas).

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

A metodologia de troca rápida de ferramenta, além de reduzir o tempo de configuração teve a capacidade de aumentar a capacidade de produção.

Neste caso, depois das medidas proposta e adotadas foram reavaliados os detalhes do processo de setup, (em minutos), na avaliação foi observado que eliminado o processo de troca da 3ª placa extratora, o tempo de setup passou de 53 a 33 minutos.

Com a redução do tempo em que a produção permanecia parada para correção dos erros ocorridos no setup, aumentou a capacidade produtiva da empresa.

Os ganhos são de difícil quantificação, no entanto são benefícios de ordem qualitativa que a empresa obteve através da implementação de uma metodologia de troca rápida de ferramentas.

Através dos resultados demonstrou-se que a aplicação da metodologia, além das vantagens acima listadas também traz benefícios por simplificar os processos operacionais.

Os tempos invertidos em preparação e troca de utensílios e ferramentas são um dos fatores chaves para um fabricante de classe mundial. A redução dos tempos de troca de utensílios permite a redução no tamanho dos lotes, sendo com isso possível a redução dos inventários em processo. A redução dos lotes por sua vez é possível, para reduzir os tempos de ciclo; a redução deste último permite dar a empresa uma resposta mais rápida aos clientes, reduzindo ou eliminando a necessidade de manter inventários de produtos acabados.

Uma fábrica típica disporá de numerosos processos de trocas de ferramentas, e uma parte importante da melhoria continua terá relação direta com a redução gradual e sistemática dos tempos de setup.

O Sistema de Produção Just in Time (Justo a Tempo) não é viável se são volumosos os tamanhos dos lotes, e estes lotes só podem reduzir, se somente forem reduzidos os tempos para as trocas de utensílios e preparação das equipes.

No passado, não se dava muita transcendência a necessidade de acelerar os câmbios de úteis, mas a ampla aceitação do Just in Time tem constituído este tema no centro de atenção de muitas empresas.

Muitas empresas tem verificado que podem reduzir significativamente os tempos de troca de ferramentas (da ordem do 50 ao 75%) com o mero estudo do problema e a posterior melhoria na organização das atividades. Pode-se ganhar reduções adicionais mediante modificações relativamente pequenas nas máquinas, ferramentas, utensílios ou produto. Somente depois de ter posto em prática esta classe de melhorias simples é necessário incorrer em inversões de capital de certo nível.

O custo atual de se obter importantes melhorias em matéria de tempos é viável meramente com o tempo destinado: em primeiro lugar a capacitação dos operários e em segundo lugar a atenção que estes diariamente prestem as máquinas, e os dos técnicos e engenheiros necessários para as atividades de assessoramento e suporte.

Como tem relativamente poucas fábricas sem custos de troca, a maioria tem a oportunidade de reduzi-los, e reduzir a inversão em inventário associado. Os custos de preparação não se limitam as oficinas mecânicas convencionais, afetam também as indústrias de processo e a as de montagem, como farmacêuticas, papelarias, alimentícias, químicas, e eletrônicas entre muitas outras.

O ponto importante é que as operações de preparação de máquinas e trocas de utensílios, ferramentas, modelos e acessórios são um dos gastos inúteis mais substanciais da fabricação. Só basta considerar que se em uma fábrica se reduz a um mínimo todas as operações vinculadas as trocas de ferramentas e tempos de preparação, normalmente podem reduzir os custos de fabricação em uns 20% (vinte por cento) ou mais.

A empresa com a metodologia desenvolvida obteve um ganho econômico de R\$ 201.971,00, visto que gastava anteriormente R\$ 401.416,00, passando a ter um gasto anual com perdas de parada de linha de R\$ 199.457,00.

Outro ganho significativo deve-se a redução do índice de afastamento por doenças ocupacionais dos colaboradores que trabalham na ferramentaria, causados por esforço repetitivo com o manuseio de peças pesadas, pois a peso da placa 3º extratora é de 75 kg.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMOMANI, M. A. et al. A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques. **Computers & Industrial Engineering**, v. 66, n. 2, p. 461-469, 2013. ISSN 0360-8352.

ANDERE, G. **IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS DE REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP E DE SUSTENTABILIDADE DAS MELHORIAS OBTIDAS: UM CASO DE APLICAÇÃO**. 2012. (Graduação). MECÂNICA, ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
São Carlos, São Carlos.

ANDRES, C.; MIRALLES, C.; PASTOR, R. Balancing and scheduling tasks in assembly lines with sequence-dependent setup times. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1212-1223, 2008. ISSN 0377-2217.

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, 2007. ISSN 1808-5245.

AUBRY, A. et al. Minimizing setup costs for parallel multi-purpose machines under load-balancing constraint. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1115-1125, 2008. ISSN 0377-2217.

AUER, R. USING PLAN DO CHECK ACT (PDCA) QUALITY IMPROVEMENT CYCLES TO IMPLEMENT PREVENTION RECOMMENDATIONS AMONG PRIMARY CARE PHYSICIANS IN SWITZERLAND. 37th Annual Meeting of the Society for Medical Decision Making, 2015, Smdm.

BERK, E.; TOY, A. Ö.; HAZİR, Ö. Single item lot-sizing problem for a warm/cold process with immediate lost sales. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1251-1267, 2008. ISSN 0377-2217.

CHIROLI, D. M. D. G.; RAMOS, V. E. IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA 5S E TRF EM UMA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO DE PLÁSTICOS DA CIDADE DE MARINGÁ-PR/IMPLEMENTING OF THE PROGRAM 5S AND TRF IN A PLASTIC PROCESSING INDUSTRY IN THE CITY OF MARINGÁ-PR. **INOVAE-Journal of Engineering and Technology Innovation**, v. 3, n. 1, p. 3-20, 2015. ISSN 2357-7797.

CHUNG, C.-H.; KRAJEWSKI, L. J. Planning horizons for master production scheduling. **Journal of Operations Management**, v. 4, n. 4, p. 389-406, 1984. ISSN 0272-6963.

COSTA, P.; ALVES, A. C.; SOUSA, R. M. Implementação da metodologia Quick ChangeOver numa linha de montagem final de auto-rádios: para além da técnica SMED. 2011. ISSN 9728826206.

CRAMA, Y. et al. Cyclic scheduling in robotic flowshops. **Annals of operations Research**, v. 96, n. 1-4, p. 97-124, 2000. ISSN 0254-5330.

DA CAS, F. et al. IMPLICAÇÕES DA REDUÇÃO DE SETUP NA PRODUTIVIDADE DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA. **GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 5, n. 1, p. 1764-1779, 2015. ISSN 2237-0722.

DA COSTA, A. H.; DE LIMA, J. D. F. G.; GOMES, M. D. L. B. Redução do tempo de setup na produção de botas de pvc através da técnica TRF. **Revista Produção Online**, v. 12, n. 1, p. 119-132, 2012. ISSN 1676-1901.

DA SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, 2005.

DAGER, J. Speak to Middle Managers. 2014.

DEMO, P. Débito social da ciência. **Metodologia científica em ciências sociais**, p. 16-40, 1995.

DESAI, M. Productivity Enhancement by Reducing Setup Time-SMED: Case Study in the Automobile Factory. **Global Journal of Researches In Engineering**, v. 12, n. 5-A, 2012. ISSN 0975-5861.

DO VALLE DELGADO, T.; DA CUNHA REIS, A.; DE MELO, V. A. Aplicação de Métodos Visando à Redução de Setup em um Processo de Conformação Mecânica de Tubos de Aço. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 4, p. 554-564, 2014. ISSN 1980-5160.

EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. **STUDI ORGANIZZATIVI**, 2008. ISSN 1972-4969.

FLYNN, B. The effects of setup time on output capacity in cellular manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 25, n. 12, p. 1761-1772, 1987. ISSN 0020-7543.

FLYNN, B. B. et al. Empirical research methods in operations management. **Journal of operations management**, v. 9, n. 2, p. 250-284, 1990. ISSN 0272-6963.

GHINATO, P. Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time. **Production**, v. 5, n. 2, p. 169-189, 1995. ISSN 0103-6513.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. In: (Ed.). **Métodos e técnicas de pesquisa social**: Atlas, 2010.

GUO, P.; CHENG, W.; WANG, Y. Parallel machine scheduling with step-deteriorating jobs and setup times by a hybrid discrete cuckoo search algorithm. **Engineering Optimization**, v. 47, n. 11, p. 1564-1585, 2015. ISSN 0305-215X.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Campus, 1991. ISBN 8570016700.

HAVILL, J. T.; MAO, W. On-line algorithms for hybrid flow shop scheduling. **Faculty Publications**, 1998.

HERR, O.; GOEL, A. Minimising total tardiness for a single machine scheduling problem with family setups and resource constraints. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 1, p. 123-135, 2016. ISSN 0377-2217.

JACKSON, P. R.; MARTIN, R. Impact of just-in-time on job content, employee attitudes and well-being: a longitudinal study. **Ergonomics**, v. 39, n. 1, p. 1-16, 1996. ISSN 0014-0139.

JUNIOR, E. L. C. **Gestão do processo produtivo**. Editora Ibplex, 2008. ISBN 8576490838.

KACEM, I.; CHU, C.; SOUISSI, A. Single-machine scheduling with an availability constraint to minimize the weighted sum of the completion times. **Computers & operations research**, v. 35, n. 3, p. 827-844, 2008. ISSN 0305-0548.

KOGAN, K.; LEVNER, E. A polynomial algorithm for scheduling small-scale manufacturing cells served by multiple robots. **Computers & operations research**, v. 25, n. 1, p. 53-62, 1998. ISSN 0305-0548.

KOULAMAS, C.; KYPARISIS, G. J. Single-machine and two-machine flowshop scheduling with general learning functions. **European Journal of Operational Research**, v. 178, n. 2, p. 402-407, 2007. ISSN 0377-2217.

_____. Single-machine scheduling problems with past-sequence-dependent setup times. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1045-1049, 2008. ISSN 0377-2217.

KRAJEWSKI, L. J. et al. Kanban, MRP, and shaping the manufacturing environment. **Management science**, v. 33, n. 1, p. 39-57, 1987. ISSN 0025-1909.

KUO, W.-H.; YANG, D.-L. Single machine scheduling with past-sequence-dependent setup times and learning effects. **Information Processing Letters**, v. 102, n. 1, p. 22-26, 2007. ISSN 0020-0190.

KUŠAR, J. et al. Reduction of machine setup time. **Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering**, v. 56, n. 12, p. 833-845, 2010. ISSN 0039-2480.

LEÃO, S. R. R. D. C.; DOS SANTOS, M. J. Aplicação da troca rápida de ferramentas (TRF) em intervenções de manutenção preventiva. **Revista Produção Online**, v. 9, n. 1, 2009. ISSN 1676-1901.

LEE, G.-C.; HONG, J. M.; CHOI, S.-H. Efficient Heuristic Algorithm for Scheduling Two-Stage Hybrid Flowshop with Sequence-Dependent Setup Times. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, 2015. ISSN 1024-123X.

LEITE, R. D. C. M.; DE ARAÚJO ALVES, T. A.; DA CRUZ, J. A. Oscilação do tempo de set-up no processo de rotomoldagem. **Conhecimento Interativo**, v. 8, n. 1, p. 203-236, 2014. ISSN 1809-3442.

LEUNG, J. Y.-T.; NG, C.; CHENG, T. E. Minimizing sum of completion times for batch scheduling of jobs with deteriorating processing times. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1090-1099, 2008. ISSN 0377-2217.

LEVNER, E. et al. Complexity of cyclic scheduling problems: A state-of-the-art survey. **Computers & Industrial Engineering**, v. 59, n. 2, p. 352-361, 2010. ISSN 0360-8352.

LIU, C.-Y.; CHANG, S.-C. Scheduling flexible flow shops with sequence-dependent setup effects. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 16, n. 4, p. 408-419, 2000. ISSN 1042-296X.

LUBBEN, R. T. **Just-In-Time: uma estratégia avançada de produção**. McGraw-Hill, 1989. ISBN 0074502131.

MANZINI, E.; BONATO, N. **Considerações sobre a elaboração de roteiro para entrevista semi-estruturada**. 2008.

MAY, T. Pesquisa Social, Questões, métodos e processos; trad. **Carlos Alberto Silveira Netto Soares. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2004.**

MONKMAN, S. K.; MORRICE, D. J.; BARD, J. F. A production scheduling heuristic for an electronics manufacturer with sequence-dependent setup costs. **European journal of operational research**, v. 187, n. 3, p. 1100-1114, 2008. ISSN 0377-2217.

MOSHEIOV, G.; ORON, D. Open-shop batch scheduling with identical jobs. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1282-1292, 2008. ISSN 0377-2217.

MOSHEIOV, G.; ORON, D.; RITOV, Y. Minimizing flow-time on a single machine with integer batch sizes. **Operations Research Letters**, v. 33, n. 5, p. 497-501, 2005. ISSN 0167-6377.

MOURA, R. A.; BANZATO, E. Redução do tempo de setup: troca rápida de ferramentas e ajustes de máquinas. **São Paulo: IMAM, 1996.**

MULLARKEY, S.; JACKSON, P.; PARKER, S. Employee reactions to JIT manufacturing practices: a two-phase investigation. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 11, p. 62-79, 1995. ISSN 0144-3577.

NISHIDA, L. T. Como determinar metas para o tempo de setup. **Artigo publicado no site do Lean Institute Brasil (www.lean.org.br), 2005.**

OLADEINDE, M.; MOMODU, A.; OLADEINDE, C. FLOWSHOP SCHEDULING USING A NETWORK APPROACH. **Nigerian Journal of Technology**, v. 34, n. 2, p. 286-291, 2015. ISSN 0331-8443.

PANWALKAR, S.; KOULAMAS, C. On equivalence between the proportionate flow shop and single-machine scheduling problems. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 62, n. 7, p. 595-603, 2015. ISSN 1520-6750.

PANWALKAR, S.; SMITH, M. L.; KOULAMAS, C. Review of the ordered and proportionate flow shop scheduling research. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 60, n. 1, p. 46-55, 2013. ISSN 1520-6750.

PAWLAK, J. S. et al. Princípios da Administração Científica e do Lean Manufacturing aplicados em uma fábrica de injeção de plástico: análise comparativa do resultado operacional. **Revista Eletrônica Produção em Foco**, v. 4, n. 1, 2014. ISSN 2237-5163.

RECH, G. C. Dispositivos visuais como apoio para a troca rápida de ferramentas: a experiência de uma metalúrgica. 2004.

REIS, M. E. P.; ALVES, J. M. Um método para o cálculo do benefício econômico e definição da estratégia em trabalhos de redução do tempo de setup. **Gest. Prod.[online]**, v. 17, n. 3, p. 579-588, 2010.

RUIZ, R.; STÜTZLE, T. A simple and effective iterated greedy algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 177, n. 3, p. 2033-2049, 2007. ISSN 0377-2217.

SARASWATI, D. et al. Joint economic lot size models with setup reduction for different delivery policies. **TC**, v. 2, p. 1, 2008.

SATOLO, E. G.; CALARGE, F. A. Troca Rápida de Ferramentas: estudo de casos em diferentes segmentos industriais. **Exacta**, v. 6, n. 2, p. 283-296, 2008. ISSN 1678-5428.

SCHALLER, J. E.; GUPTA, J. N. Single machine scheduling with family setups to minimize total earliness and tardiness. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1050-1068, 2008. ISSN 0377-2217.

SEIDEL, A.; SAURIN, T. A. Identificação das habilidades enxutas: um estudo exploratório em uma atividade de Troca Rápida de Ferramentas. **Produto & Produção**, v. 16, n. 3, p. 32-42, 2015. ISSN 1983-8026.

SHARIFI, S.; CHAUHAN, S. S.; BHUIYAN, N. Reducing Setup Time in Manufacturing Cells in a JIT Environment. *Advanced Materials Research*, 2012, Trans Tech Publ. p.1134-1137.

SHERALI, H. D.; VAN GOUBERGEN, D.; VAN LANDEGHEM, H. A quantitative approach for scheduling activities to reduce set-up in multiple machine lines. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1224-1237, 2008. ISSN 0377-2217.

SHINGO, S. **A revolution in manufacturing: the SMED system**. Productivity Press, 1985. ISBN 0915299038.

_____. **Sistema de troca rápida de ferramenta**. Bookman, 2000. ISBN 8573075287.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia industrial**: Porto Alegre, Bookman 2005.

SHINGO, S.; DILLON, A. P. **A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint**. CRC Press, 1989. ISBN 0915299178.

SHONBERGER, R. J. **Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre simplicidade**. São Paulo: Pioneira, 1992.

SINGH, B. et al. Lean implementation and its benefits to production industry. **International journal of lean six sigma**, v. 1, n. 2, p. 157-168, 2010. ISSN 2040-4166.

SUGAI, M.; MCINTOSH, R. I.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. **Gestão e Produção, São Carlos**, v. 14, n. 2, p. 323-335, 2007.

TAYLOR, M. J. et al. Systematic review of the application of the plan–do–study–act method to improve quality in healthcare. **BMJ quality & safety**, v. 23, n. 4, p. 290-298, 2014. ISSN 2044-5423.

TREVINO, J.; HURLEY, B.; FRIEDRICH, W. A mathematical model for the economic justification of setup time reduction. **THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH**, v. 31, n. 1, p. 191-202, 1993. ISSN 0020-7543.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. Atlas, 1987. ISBN 8522402736.

TROVINGER, S. C.; BOHN, R. E. Setup Time Reduction for Electronics Assembly: Combining Simple (SMED) and IT-Based Methods. **Production and Operations Management**, v. 14, n. 2, p. 205-217, 2005. ISSN 1937-5956.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. Editora Atlas SA, 2000. ISBN 8522491003.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International journal of operations & production management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002. ISSN 0144-3577.

WEGLARZ, J. et al. Project scheduling with finite or infinite number of activity processing modes—A survey. **European Journal of Operational Research**, v. 208, n. 3, p. 177-205, 2011. ISSN 0377-2217.

WORTMAN, D. **MANAGING CAPACITY-GETTING THE MOST FROM YOUR COMPANY ASSETS: INST INDUSTRIAL ENGINEERS 25 TECHNOLOGY PARK/ATLANTA, NORCROSS, GA 30092**. 24: 47-49 p. 1992.

YANG, D.-L.; KUO, W.-H.; CHERN, M.-S. Multi-family scheduling in a two-machine reentrant flow shop with setups. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1160-1170, 2008. ISSN 0377-2217.

YANG, S.-J. Single-machine scheduling problems with both start-time dependent learning and position dependent aging effects under deteriorating maintenance

consideration. **Applied Mathematics and Computation**, v. 217, n. 7, p. 3321-3329, 2010. ISSN 0096-3003.

YENISEY, M. M.; YAGMAHAN, B. Multi-objective permutation flow shop scheduling problem: Literature review, classification and current trends. **Omega**, v. 45, p. 119-135, 2014. ISSN 0305-0483.

YIN, R. K. **Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos**. Bookman editora, 2015. ISBN 8582602324.

YIN, Y. et al. Single-machine scheduling with time-dependent and position-dependent deteriorating jobs. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 7, p. 781-790, 2015. ISSN 0951-192X.

YOKOYAMA, M. Hybrid flow-shop scheduling with assembly operations. **International Journal of Production Economics**, v. 73, n. 2, p. 103-116, 2001. ISSN 0925-5273.

YUAN, Z. et al. Study of Improved PDCA Quality Management of Concrete Industry. **Science Technology and Industry**, v. 10, p. 032, 2013.