

Troca rápida de ferramentas: implementação de uma sistemática ampliada

Rapid exchange of tools: implementation of an expanded systematic

Franco de Almeida Mattana – UFRGS (frmattana@gmail.com)

Giovana Savitri Pasa – UFRGS (giovanapasa@producao.ufrgs.br)

Resumo: A Troca Rápida de Ferramentas (TRF) é uma consagrada técnica que busca a redução do tempo de *setup*, proporcionando à empresa a redução dos lotes de fabricação, atingindo flexibilidade, customização e velocidade de entrega. Este trabalho faz uma adaptação de metodologias propostas na literatura e desenvolve uma sistemática de implantação da TRF para uma empresa do setor metal-mecânico apresentando o respectivo estudo de caso. A sistemática foi aplicada em três etapas: estratégica (adquirir o consentimento da gerência, definição do produto, processo, operação e equipe), operacional (separar e converter *setup* interno em externo, racionalizar, eliminar ajustes e padronizar) e consolidação (análise dos resultados e treinamentos). No projeto piloto foi implementada a TRF em uma operação realizada por um centro de usinagem CNC. Através de mudanças organizacionais, gerenciamento visual, padronização de ferramentas e o desenvolvimento de guias nos dispositivos, foi possível reduzir o tempo médio de *setup* da operação em 52%.

Palavras chave: Tempo de *Setup*. TRF. Indústria Metal-Mecânica

Abstract: Single-minute exchange of die (SMED) is a powerful methodology for reducing the changeover time, which is key to reduce the batch size and thereby increase production flexibility, product customization and fast responses to the market. This work makes an adaptation of methodologies proposed in the literature and develops a systematic deployment of SMED for a metal-mechanic company presenting their case study. The system was implemented in three stages: strategic (product, process and team definition), operational (separate and convert internal to external setup, streamline, eliminate adjustments and standardise) and consolidation (analyse the results and personal train the operators). The pilot project was conducted in a computer numerical control (CNC) machine tool operation. Through organizational changes, visual management, standardization of tools and guides, it was possible to reduce the average setup time of the operation by 52%.

Keywords: Set up time, SMED, Metal-Mechanical Industry

1. Introdução

O cenário competitivo atual criado pelo mercado em que se encontram as empresas de manufatura metal-mecânica impõe prazos de produção cada vez menores, exige customização dos produtos e se dispõe a remunerar o mínimo possível. Este contexto demanda que as empresas sejam capazes de trabalhar com um grande mix de produtos, apresentando flexibilidade e velocidade de adaptação com mínimas perdas. Tais necessidades implicam em uma administração de manufatura apta a trabalhar com múltiplos lotes, onde a redução do tempo de *setup* é crucial.

Uma das técnicas aceitas para alcançar-se a redução dos tempos de *setup* é conhecida como Troca Rápida de Ferramentas (TRF), cujo sucesso vem sendo relatado na literatura, por exemplo, por Neumann e Ribeiro (2004), que aplicaram a metodologia TRF em uma empresa fornecedora de conjuntos montados estampados em chapas de aço alcançando reduções de 50% no tempo de troca. Fogliatto e Fagundes (2003) aplicaram a metodologia de TRF para reduzir o tempo de *setup* em equipamentos de furação em uma linha de produção de roupeiros em uma indústria moveleira, obtendo resultados indicando reduções de 83%. Trovinger e Bohn (2005) também aplicaram a metodologia TRF para reduzir tempos de *setup* em uma empresa norte-americana do setor microeletrônico e obtiveram reduções próximas a 79%. Goubergen e Landeghem (2001) afirmam ter utilizado a TRF em variadas aplicações em diferentes ramos da indústria obtendo vários casos com reduções superiores a 90%, inclusive em situações complexas de *setups* de linhas que requeriam o trabalho de 10 pessoas ao mesmo tempo.

Segundo Shingo (1996), a Troca Rápida de Ferramentas (TRF) ou *Single Minute Exchange of Die* (SMED) é a maneira mais eficaz de reduzir o tempo de *setup*, podendo chegar de 80 a 95% de redução. O método da TRF foi proposto e formalizado por Shigeo Shingo, que iniciou estudos de reduções de tempo de *setup* de prensas dentro de empresas de manufatura metal-mecânica, passando pelas plantas da Mazda (1950), Mitsubishi (1957) e Toyota Motors (1970). Ele reuniu um conjunto de técnicas as quais chamou de TRF e levantou a hipótese de que qualquer *setup* poderia ser realizado em menos de 10 minutos.

Desde a sua proposição, a TRF vem sendo amplamente disseminada, tendo seu uso fortemente associado ao setor metal-mecânico no qual foi originada. Satolo e Calarge (2008), por exemplo, realizaram um estudo em seis empresas com forte representação

nacional na região de Campinas e Piracicaba, sendo cinco delas pertencentes ao segmento metal-mecânico e uma ao ramo de eletrodomésticos. Apenas uma dessas empresas não possuía metodologias para redução do tempo de *setup*; as cinco demais utilizavam a TRF.

Uma vez que se acredita que a TRF seja uma ferramenta eficaz na redução de tempos de *setup*, o objetivo deste trabalho é propor uma abordagem para auxiliar a disseminação da troca rápida de ferramentas em uma empresa do setor metal-mecânico.

O primeiro objetivo específico consiste em elaborar uma sistemática para a implementação da TRF adaptada às necessidades da empresa. O segundo objetivo específico consiste em realizar um estudo de caso contemplando uma implantação piloto da sistemática proposta e a análise dos resultados obtidos.

Esse artigo está organizado conforme segue. Após a introdução, a seção dois traz a revisão teórica sobre a TRF. A seção três apresenta os procedimentos metodológicos. A seção quatro apresenta os resultados do estudo de caso realizado. Finalmente, na seção cinco apresentam-se as conclusões.

2. Referencial Teórico

2.1 O Sistema Toyota de Produção (STP)

O Sistema Toyota de Produção (STP), criado por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno na década de 1950, adquiriu seus primeiros contornos na literatura acadêmica através do professor Yasuhiro Monden (SUGAI et al., 2007). Em sua obra, Monden (1984) apresentou estruturadamente o STP definindo-o como um método racional de fabricar produtos pela completa eliminação dos desperdícios oriundos da produção. Tais desperdícios poderiam ser classificados em sete tipos diferentes: superprodução; esperas; transportes excessivos; processamento; inventário; movimentação e produtos defeituosos (WOMACK; JONES, 1998).

Segundo Ohno (1997), um dos passos fundamentais do STP é identificar completamente os sete desperdícios e eliminá-los. Para tanto, o STP adotou a produção em pequenos lotes, a redução de *setup*, a redução de estoques e o foco na qualidade (GODINHO FILHO; FERNANDES, 2004).

Um fator essencial no aprimoramento contínuo da produção é a habilidade de realizar-se o mapeamento da mesma. O Sistema Toyota de Produção recomenda que a produção seja mapeada tendo como modelo teórico o chamado “Mecanismo da Função Produção”, que explica a produção como uma rede de processos e operações, conforme a

Figura 1. Os processos são baseados no fluxo do objeto da produção transformando-se de matéria-prima em produto ao longo do tempo e do espaço simultaneamente. O tempo despendido neste fluxo do objeto é conhecido como tempo de atravessamento ou *lead time*. As operações consistem no fluxo dos sujeitos da produção (homens e máquinas) ao longo do tempo e espaço. Explicação detalhada de tal modelo teórico é apresentada recorrentemente em Shingo (1981) e Shingo (1988).

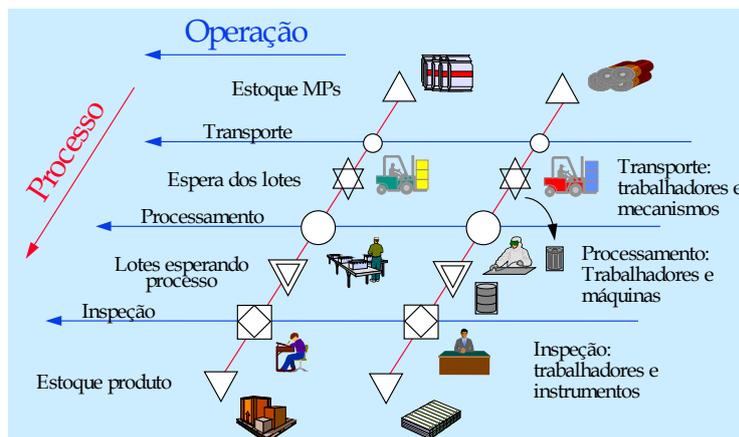


Figura 1 - Rede de processos e operações. Fonte: Adaptado de Ohno (1997).

A análise de processos é reconhecidamente prioritária uma vez que trata do objeto da produção. Entretanto, uma vez que a análise de processos indica a necessidade de aprimoramentos em operações, passa-se a realizar a análise destas últimas. Com este intuito, Shingo (2000) analisa a estrutura interna de uma operação e a separa conceitualmente em: operações de *setup*, operações essenciais, operações auxiliares e folgas marginais. A Figura 2 apresenta os elementos que se unem para formar as operações.

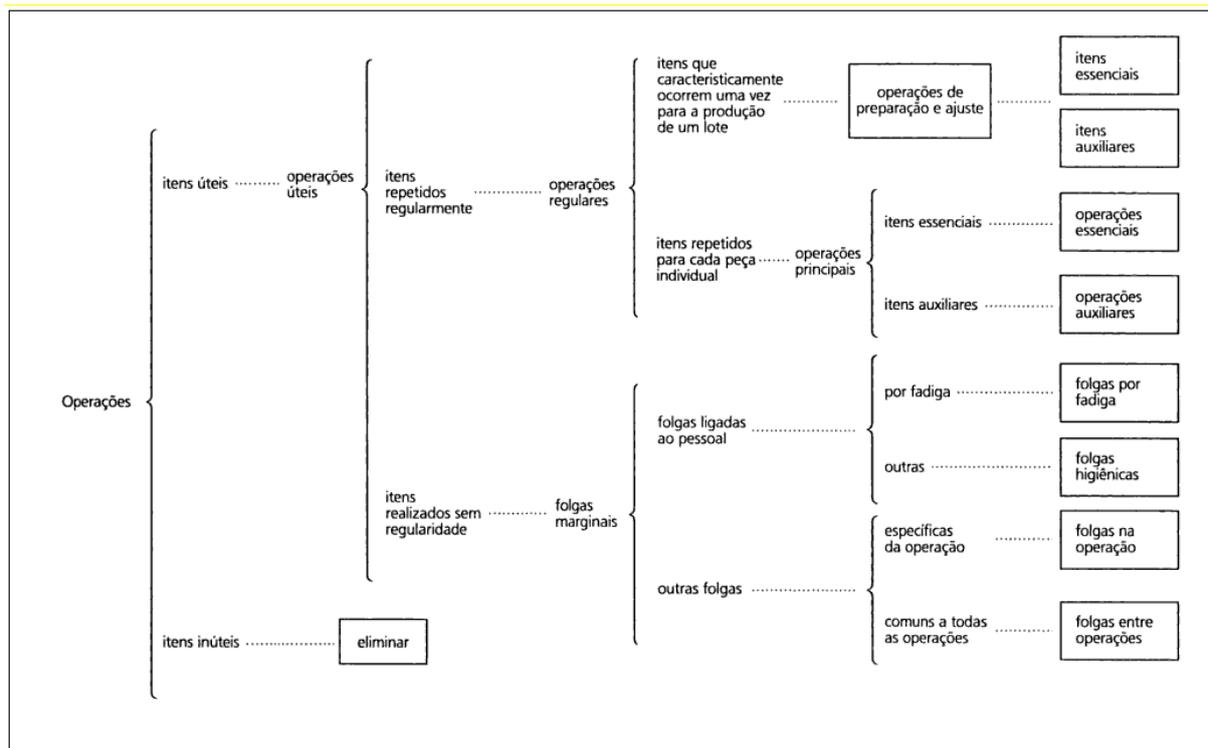


Figura 2. A estrutura das operações. Fonte: Shingo (2000).

2.2 O *setup* e a Troca Rápida de Ferramentas (TRF)

Goubergen e Landeghem (2001) definem o tempo de *setup* como sendo o intervalo de tempo que se passa entre o término da última peça boa do lote anterior até o término da primeira peça boa do próximo lote. Os autores deixam claro que o tempo gasto em qualquer tipo de ajuste e fabricação de peças defeituosas no meio desse processo está incluso no tempo de *setup*. A redução neste tempo de *setup* é o objetivo da TRF.

Cabe notar que, por razões históricas associadas à evolução da técnica, a TRF também é conhecida por *Single Minute Exchange of Die* (SMED) ou *One Touch Exchange of Die* (OTED). Shingo (2000) apresenta seu processo de redução de tempo através da troca de ferramentas em quatro estágios conceituais (Figura 3):

Estágio 0: as condições de *setup* interno e externo não se distinguem

As operações de *setup* interno (tempo de preparação que pode ser realizado somente quando a máquina estiver parada) e *setup* externo (tempo de preparação que pode ser realizado com a máquina em funcionamento) são confundidas; operações que poderiam estar sendo realizadas externamente estão sendo realizadas internamente resultando em máquinas paradas por muito tempo.

Estágio 1: Separando *setup* interno e externo

A etapa mais importante da implementação da TRF é diferenciar o *setup* interno do externo. Técnicas como a utilização de *checklists*, verificações das condições de funcionamento e melhoria no transporte de matrizes são propostas nesta etapa. Esse passo pode alcançar reduções próximas de 50% no tempo de *setup* interno.

Estágio 2: Convertendo *setup* interno em externo

Nesta etapa se reexaminam as operações para verificar se algum passo foi erroneamente dado como interno e se desenvolvem meios para converter estes passos para *setup* externo. Técnicas como a preparação antecipada das condições operacionais, padronização de funções e utilização de guias intermediárias são propostas para esta etapa.

Estágio 3: Racionalizando todos os aspectos da operação de *setup*

Nesta última etapa são concentrados esforços para racionalizar cada elemento dos *setups* interno e externo, procurando ao máximo facilitar ou, até mesmo, eliminar operações e ajustes. Técnicas como a melhoria na estocagem e no transporte de navalhas, matrizes, guias, batentes, etc.; implantação de operações em paralelo, uso de fixadores funcionais, sistema mínimo múltiplo comum e mecanização são propostas para esta etapa.

Monden (1984) aborda a TRF de modo muito semelhante a Shingo (2000). O autor divide sua metodologia em quatro estágios: 1. separar a preparação da ferramenta em interna e externa; 2. transferir o máximo de ações da preparação interna para a externa; 3. eliminar o processo de ajuste; 4. eliminar a etapa de troca de ferramenta (através da utilização da mesma peça para vários produtos e produzir vários produtos ao mesmo tempo). Para a aplicação dos conceitos, o autor propõe seis principais técnicas: 1. padronizar as ações externas da troca de ferramentas; 2. padronizar somente as partes necessárias da máquina; 3. utilizar fixador rápido; 4. usar uma ferramenta de fixação suplementar; 5. utilizar operações paralelas; 6. mecanizar o sistema de troca de ferramentas.

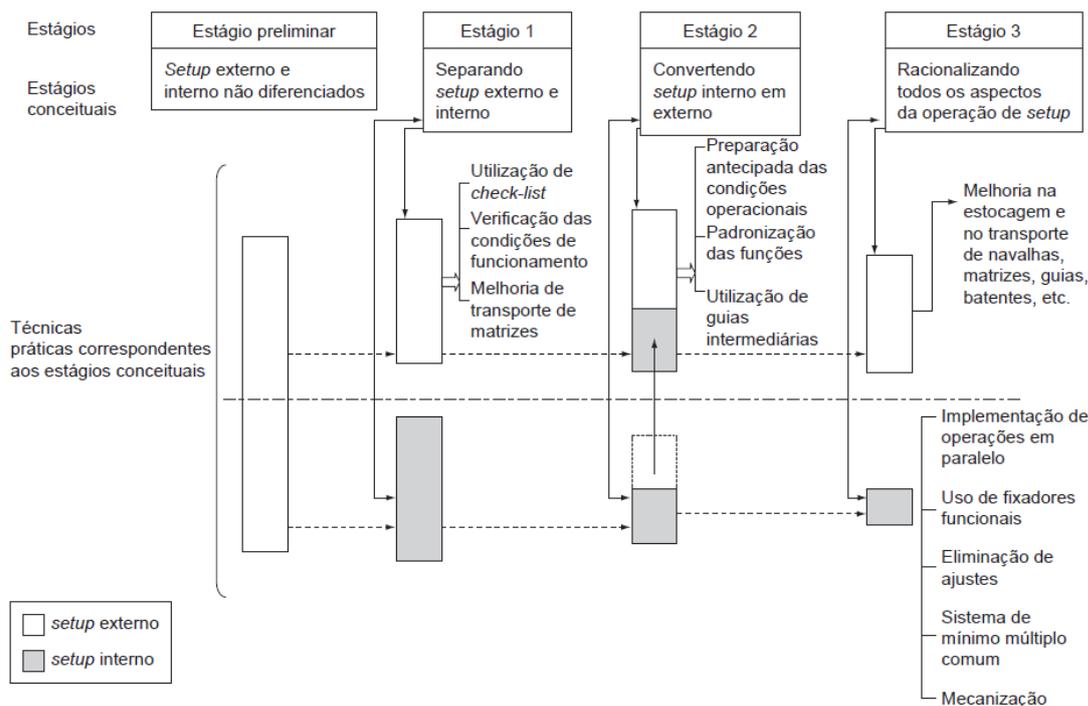


Figura 3. TRF Estágios conceituais e técnicas práticas. Fonte: Shingo (2000).

Segundo Fogliatto e Fagundes (2003), a principal contribuição de Monden (1984) em relação à metodologia de Shingo (2000) foi a segunda técnica proposta na sua metodologia, onde o autor sugere padronizar somente a parte necessária à função de troca de ferramentas, sugerindo uma análise de custo-benefício em relação à padronização e o tempo de *setup*.

McIntosh et al. (2000) realizam análises críticas detalhadas sobre o trabalho de Shingo. Eles apresentam a definição da TRF de três diferentes maneiras: conceito; metodologia; e programa de melhoria. Analisam perdas durante os períodos de desaceleração e aceleração do *setup* e sugerem uma metodologia que contemple o projeto (estudos para substituição de máquinas, equipamentos e dispositivos). O artigo de McIntosh et al. (2000) inspirou outros autores em seus estudos, como é o caso de Sugai et al. (2007) e Reis e Alves (2010).

Sugai et al. (2007) estudaram os problemas associados aos períodos de desaceleração e aceleração relativos às operações de *setup*. Os autores apresentam um estudo de caso em uma linha de produção de uma empresa do setor metal-mecânico e concluíram que esses períodos podem resultar em desempenho inferior àquele estabelecido pelas metas de produção.

Reis e Alves (2010) apresentam um guia para auxílio na tomada de decisão que diz respeito à escolha da abordagem para a redução de *setup*: TRF – organizacional; ou

mudança por projeto – troca de máquina. Para tanto, os autores apresentam um método que mostra como calcular os ganhos provenientes da redução do tempo de *setup* com um estudo de caso provando sua efetividade.

2.3 Casos documentados

Shingo (2000) apresenta estudos de caso documentados entre as décadas de 70 e 80 com a aplicação de sua metodologia de TRF obtendo excelentes resultados em uma grande gama de processos de fabricação (corte, prensagem, plástico, fundição, soldagem, pintura, borracha, montagem, entre outros).

Embora as empresas enfrentem situações diversas na atualidade, as técnicas documentadas por Shingo (2000) e Monden (1984) continuam apresentando bons resultados. Conceição et al. (2009) aplicaram a metodologia de TRF com fins de redução do tempo de *changeover* em um processo de produção e montagem de placas de circuito impresso. Os autores conseguiram transformar operações antes internas (preparação e limpeza dos materiais) para externas através do desenvolvimento de um suporte móvel utilizado como um *kit de changeover* e reduziram tempos na preparação por meio de dispositivos de identificação, dispositivos facilitadores e um alarme sonoro, obtendo uma redução de tempo de *setup* de 44%. De maneira ainda mais eficiente, Tharisheneprem (2008) atingiu reduções superiores a 95% no tempo de *setup* de uma máquina chave do setor de semicondutores através da eliminação de ajustes por meio de novos dispositivos.

Trabalhos documentados mostram que é possível evoluir tecnologicamente em termos de *setup* com sistemas inovadores de troca rápida. Costa et al. (2004) aplicaram a metodologia de TRF com o objetivo de reduzir tempos de preparações de máquinas de controle numérico computadorizado (CNC) em uma empresa do setor metal-mecânico. Apenas com mudanças organizacionais sugeridas nos três primeiros passos da TRF de Shingo foram obtidas reduções de 43%. Posteriormente, foi instalado um sistema de placa com troca rápida para um torno CNC possibilitando reduções de 10% no tempo de preparação. Trovinger e Bohn (2005), após aplicarem os passos conceituais da metodologia de TRF, desenvolveram um sistema computadorizado com códigos de barra, computadores pessoais (PC's) e terminais portáteis para gerenciar informações relacionadas aos itens necessários para os componentes específicos do *setup* de cada lote de peças.

2.4 Os pré-requisitos para a TRF

Moxham e Greatbanks (2001) aplicaram a metodologia TRF em um processo tradicional da indústria têxtil inglesa e enfrentaram diversas dificuldades nas fases iniciais do programa. Analisando as causas desses problemas de implantação, os autores afirmam que certos pré-requisitos são necessários para a aplicação da metodologia de Shingo e então sugerem um novo estágio inicial para a TRF chamado TRF-ZERO. Moxham e Greatbanks (2001) sustentam a criação do novo estágio afirmando que Shingo não possui esses pré-requisitos documentados em sua obra.

A TRF-ZERO contempla pré-requisitos em quatro diferentes áreas:

- a) Trabalho em equipe para comunicação;
- b) Controle visual da fábrica;
- c) Medidas de desempenho;
- d) *Kaizen*, como ferramenta de suporte, comunicação e avaliação do progresso da metodologia. A utilização da filosofia *Kaizen* não deve ser apenas um pré-requisito, mas uma ferramenta a ser utilizada continuamente durante todo o TRF.

No mesmo sentido do que sugere o TRF-ZERO, Monden (1984) e Van Goubergen (2000) enfatizam que a TRF não é uma simples técnica, mas um conceito que exige mudanças nas atitudes de diversas outras áreas da empresa.

Um processo pode possuir máquinas perfeitamente projetadas juntamente com um eficiente sistema de organização; porém, não apresentará um bom *setup* se as pessoas que ali trabalham não visualizarem a importância ou motivação necessária para realizarem um rápido *setup* (VAN GOUBERGEN, 2000).

A preocupação com os pré-requisitos da metodologia de TRF relativos ao treinamento e motivação de equipes pode ser observada nos trabalhos documentados por Fagundes e Fogliatto (2003), Neumann e Ribeiro (2004) e Conceição et al. (2009) e, de acordo com Van Goubergen (2000), tais precauções são imprescindíveis para obtenção de bons resultados.

2.5 A metodologia proposta por Fogliatto e Fagundes (2003)

A metodologia para a implantação da TRF proposta por Fogliatto e Fagundes (2003) é constituída de quatro estágios. O estágio 1 se desdobra no convencimento da alta gerencia, na definição de metas para implantação do projeto da TRF, na escolha e treinamento da equipe de implantação e na definição estratégica de implantação. O estágio 2, por sua vez, aborda a definição do produto, processo e operação a serem abordados. O

estágio 3 consiste na análise da operação abordada, na identificação das operações internas e externas do *setup*, na conversão de *setup* interno em externo, na prática da operação de *setup*, na padronização e na eliminação de ajustes. O estágio 4 aborda a consolidação da TRF em todos os processos da empresa.

3 Procedimentos metodológicos

3.1 O cenário estudado

A empresa estudada atua no ramo metal-mecânico, especializada no desenvolvimento e fabricação de sistemas hidráulicos de controle e movimentação. Os produtos manufaturados pela empresa estão divididos em quatro unidades de negócio: cilindros, válvulas e comandos, bombas e sistemas industriais. Os produtos fabricados na unidade de bombas possuem maior representatividade no faturamento da empresa. A unidade de bombas fabrica bombas hidráulicas de engrenagem diferenciadas por uma faixa de vazão que varia de 144 a 485 (lpm). Os principais produtos em ordem decrescente de produção são: P31, P51, P350 e P71. O processo de produção das bombas é dividido em quatro células, listadas a seguir com ordem decrescente de *lead time*: 1. Usinagem de tampas e flanges; 2. Usinagem dos corpos; 3. Usinagem das engrenagens; 4. Montagem e pintura.

A Figura 4 sintetiza as etapas do processo realizado na célula de tampas e flanges para o processamento de uma flange de uma bomba P31.

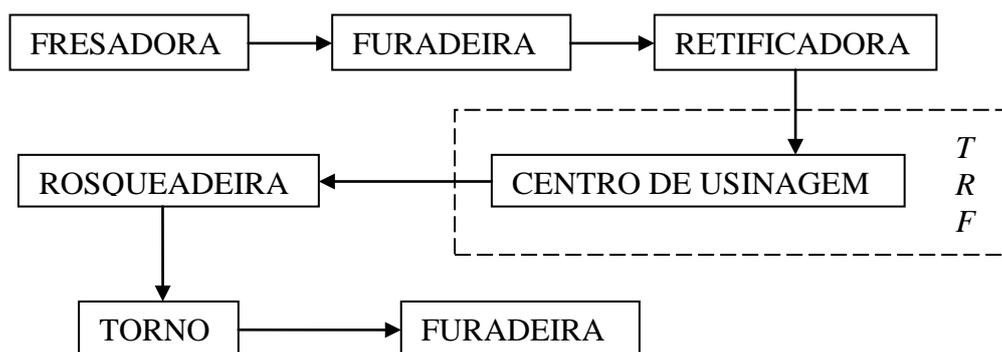


Figura 4. Processos de usinagem de uma flange de bomba P31. Fonte: elaborado pelo autor.

3.2 Classificação da pesquisa

Conforme a natureza, este estudo utilizou-se da pesquisa aplicada, uma vez que visou gerar uma metodologia para ser aplicada nos demais processos da empresa. As coletas, transcrições e análises numéricas de alguns dados, bem como o interesse em

compreender e explicar as relações entre as variáveis obtidas caracterizam uma abordagem tanto quantitativa quanto qualitativa (GÜNTHER 2006).

Tendo em vista que o presente trabalho apresenta um projeto piloto de implantação de uma metodologia de TRF e que foi levantado um referencial teórico para melhor conhecer o problema, em relação a seus objetivos, conforme Lakatos e Marconi (2008), o trabalho se classifica como exploratório.

Segundo Günter (2006), o procedimento de trabalho adotado foi o estudo de caso, uma vez que foram realizadas entrevistas e uma análise de dados tanto qualitativos como quantitativos de uma amostra individual para definir uma metodologia de aplicação mais ampla.

3.3 Etapas do trabalho

As etapas seguidas para a realização deste trabalho foram divididas em quatro estágios (Figura 5):

A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliográfica sobre o tema Troca Rápida de Ferramentas (TRF).

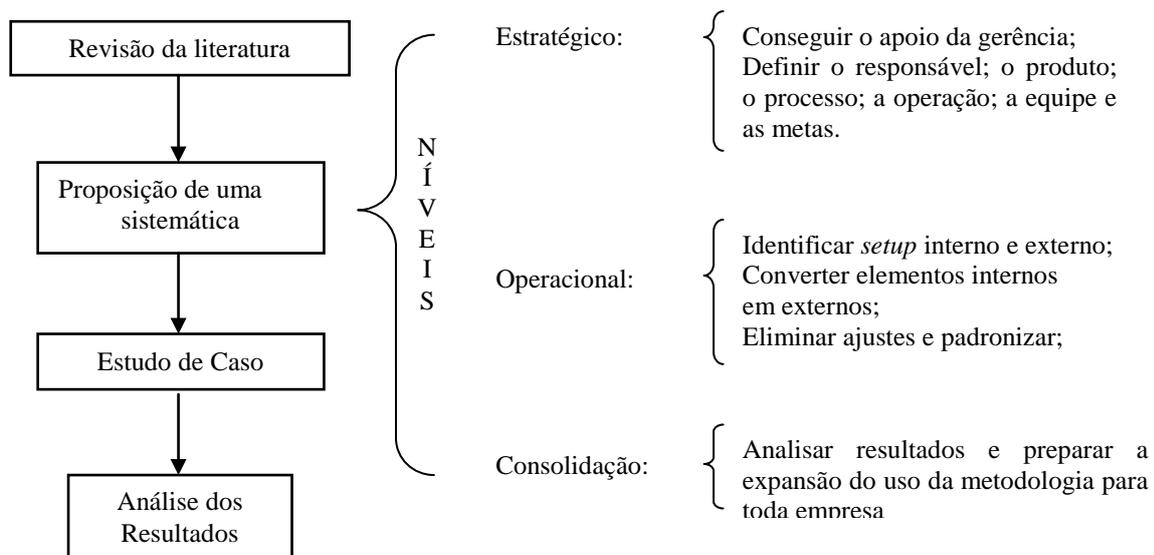


Figura 5. As etapas do trabalho. Fonte: elaborado pelo autor.

A segunda etapa consistiu na proposição de uma sistemática para a aplicação da TRF na empresa. Foi realizada uma adaptação da metodologia documentada por Fogliatto e Fagundes (2003), considerando as particularidades do presente estudo.

Para melhor compreensão, os passos propostos foram agrupados em três níveis: 1. Estratégico; 2. Operacional; e 3. Consolidação; os quais são detalhados a seguir.

3.3.1 Nivel estratégico

O nível estratégico contempla sete etapas: conquistar do apoio da gerência; definição do responsável; definição do produto; definição do processo; definição da operação; definição e treinamento da equipe; definição das metas.

A gerência possui uma grande influência em decisões que requerem mudanças e/ou investimentos (FOGLIATTO; FAGUNDES, 2003). Conseguir o apoio da gerência é fundamental para a execução, dada a necessidade de alocação de recursos e funcionários.

O responsável pela implantação é o encarregado de definir e acompanhar todo o cronograma do projeto, bem como selecionar e treinar a equipe de implantação da TRF para cada operação definida. Tendo em vista estas necessidades, o perfil do indivíduo responsável deve apresentar os seguintes aspectos: conhecimento das técnicas para a implantação da metodologia de TRF, bom relacionamento entre as diferentes áreas da empresa, facilidade de acesso à alta gerência, capacidade de liderança, poder e autoridade para tomada de decisões e conhecimento de técnicas para trabalhos em grupo.

O produto deve ser definido buscando maximizar o impacto positivo das possíveis melhorias. A prioridade de implantação do método deve seguir os produtos classe A da curva ABC (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004). Após a implantação do projeto piloto, a sequência de implantação do método poderá seguir o mesmo critério de seleção aqui mencionado; no limite, a TRF poderá ser aplicada em toda a empresa (FOGLIATTO; FAGUNDES 2003).

Todos os processos relativos à fabricação do produto selecionado devem ser analisados e, visando maximizar possíveis resultados positivos, devem ser selecionados aqueles com maior *lead time*.

As operações constantes no processo escolhido foram estudadas e foi selecionada aquela que obteve os maiores índices nos seguintes critérios:

1. Tempo total de *setup*;
2. Tempo de ciclo.

O primeiro critério foi selecionado visando focar a operação com maior tempo de *setup*; já o segundo critério foi escolhido visando focar uma operação demorada dentro do processo. Segundo Barros e Moccellini (2003), o gargalo deve atrair atenções especiais, uma vez que qualquer perda de desempenho neste recurso impacta diretamente em todo sistema.

A equipe de implantação deve ser composta pelo coordenador do projeto, por um representante do processo selecionado e por um representante da área de apoio. O treinamento da equipe deve ser conduzido pelo coordenador.

As metas de redução são estabelecidas a partir da situação inicial do processo selecionado; para tal, é preciso: i) analisar os tempos de *setup* antes do início do projeto; ii) definir um percentual para redução do tempo de *setup* tendo em vista o processo analisado; iii) elaborar um cronograma das tarefas, contendo as datas de início e término e os responsáveis por cada tarefa.

3.3.2 Nível operacional

O nível operacional contempla três etapas: análise da operação abordada e identificação dos elementos internos e externos; conversão do *setup* interno em externo; praticar a operação de *setup*, eliminar ajustes e padronizar.

É relevante realizar uma descrição detalhada de todas as atividades executadas durante o *setup* da operação abordada, assim como a filmagem do mesmo. Posteriormente, devem ser identificadas e separadas as atividades que podem ser feitas com a máquina em funcionamento (elementos externos) das que só podem ser feitas com a máquina parada (elementos internos).

Para a conversão do *setup* interno em externo, as operações classificadas como internas devem sofrer uma nova análise, visando à possibilidade de serem realizadas enquanto a máquina estiver funcionando. As operações que não contribuem para o *setup* devem ser eliminadas.

Nesta etapa operacional, são testadas todas as sugestões propostas até então, padronizando ou, se possível, eliminando todos os ajustes identificados. Para o auxílio dessa tarefa, devem ser realizadas reuniões com outros funcionários da empresa (engenheiros e operadores) no intuito de buscar ideias na padronização das ferramentas e dispositivos. Finalmente, registram-se as melhorias alcançadas e documentam-se os novos procedimentos para a realização do *setup*.

3.3.3 Nível de consolidação

O nível de consolidação contempla o fechamento do projeto piloto e a preparação para expansão da metodologia pela empresa.

A estabilização dos novos procedimentos de *setup* é alcançada com a repetição do trabalho padrão desenvolvido. O treinamento dos demais operadores do processo deve ser conduzida de maneira teórico-prática a partir do material desenvolvido no projeto piloto.

Os resultados obtidos pela implementação da metodologia são verificados através da comparação do tempo de *setup* antes e o depois.

A terceira etapa consistiu em um estudo de caso, no qual foi aplicada a sistemática proposta.

A quarta etapa consistiu na análise dos resultados obtidos no estudo de caso, os quais foram comparados e comentados tendo em vista as metas propostas e os resultados documentados na bibliografia.

4. Resultados

Esta seção contempla a descrição dos resultados obtidos no estudo de caso que implantou a sistemática de TRF, nos níveis estratégico, operacional e de consolidação.

4.1 Nível Estratégico

O consentimento da gerência foi obtido por meio de uma reunião, conduzida pelo coordenador da ferramentaria, onde foram expostos: (i) possíveis resultados de melhoria, tendo como base os casos descritos na literatura (item 2.4 deste trabalho); (ii) os passos do método para a implantação da TRF. A gerência se manifestou totalmente a favor à implementação da TRF; deixou claro que qualquer técnica estruturada de produção enxuta é bem vinda na empresa.

O responsável pela implementação da metodologia foi o coordenador da ferramentaria, o qual responde diretamente ao gerente de processo e já possui conhecimento das técnicas de implantação da metodologia. Além disso, pelo fato da ferramentaria ser uma importante área de apoio dentro da empresa, o seu gestor possui uma penetração estratégica nas diferentes áreas da manufatura, participando de reuniões diárias com a gerência e com os coordenadores do chão-de-fábrica.

A seleção do produto partiu do método da classificação ABC. Concluiu-se que as bombas hidráulicas de engrenagem, que correspondem a 8,8% do portfólio de produtos da empresa, representaram aproximadamente 28,2% do seu faturamento em 2011, configurando-se como produto A.

Foi selecionado o processo de usinagem de tampas e flanges para a implementação da metodologia. Dentre os processos de fabricação das bombas, este é o que possui o maior *lead time*.

Selecionou-se a operação realizada no centro de usinagem para focar a aplicação piloto da TRF. Essa operação possuía a maior média de tempos de ciclo e *setup*. Os tempos

foram levantados do banco de dados da empresa, o qual é abastecido por intermédio do diário de bordo de cada máquina. A Tabela 1 lista os tempos médios de ciclo e *setup* de cada uma das operações do processo selecionado.

Máquina	Operação	Peça	Tempo de ciclo (s)	Tempo de <i>setup</i> (min)
Fresadora	Fresar as duas faces da peça	Tampa / Flange	73	7
Furadeira	Furar quatro orifícios para o rosqueamento	Tampa / Flange	63	8
Retificadora	Retificar a face de encaixe com o corpo	Tampa / Flange	88	11
Centro de Usinagem	Usinar as cavidades da engrenagem e do pino guia	Tampa / Flange	440	41
Rosqueadeira	Rosquear as entradas para os tirantes	Tampa / Flange	41	4
Torno	Tornear a orelha da flange	Flange	188	16
Furadeira	Furar dois orifícios na orelha	flange	44	5,2

Tabela 1: Descrição das operações e tempos do processo de usinagem de tampas e flanges

A seleção e treinamento da equipe foram efetuados pelo coordenador do projeto de implantação. O time era composto do coordenador e outras duas pessoas: um técnico mecânico montador de ferramentas, o qual havia trabalhado durante dois anos como operador CNC na máquina selecionada para a implementação da metodologia e o líder da célula de usinagem, o qual possui vinte anos de experiência no processo e total penetração entre os operadores. No treinamento, o coordenador apresentou os conceitos e benefícios da redução do tempo de *setup*, os passos do método, estratégias e técnicas de implementação baseadas em casos bem sucedidos registrados na literatura.

A equipe de implantação estabeleceu uma meta de redução de 40% no tempo de *setup* da máquina e definiu um cronograma (Tabela 2) para a implantação da TRF indicando o responsável para cada tarefa.

Tarefa	Método	Responsável	Prazo
Filmar o <i>setup</i>	Filmagem	Líder da célula	2 dias
Descrever passo a passo as atividades executadas no <i>setup</i>	Análise do <i>setup</i>	Técnico mecânico	1 dia
Separar o <i>setup</i> interno e o externo	Análise das atividades	Técnico mecânico	1 dia
Converter <i>setup</i> interno em externo	Reunião com a equipe	Técnico mecânico	1 dia
Eliminar atividades, ajustes e padronizar ferramentas	Reunião com processistas	Técnico mecânico	12 dias

Tabela 2: Cronograma de implantação da TRF

4.2 Nível Operacional

A operação selecionada consiste na usinagem das cavidades da engrenagem e pinos guias das tampas e flanges. É realizada por um centro de usinagem CNC vertical o qual é controlado por um operador. O operador é responsável por abastecer o centro com peças vindas da retífica, controlar a usinagem, inspecionar a peça usinada e realizar o *setup* e controle do ferramental da máquina. A base do dispositivo de usinagem está dentro da máquina, fixa, não podendo ser removida. O dispositivo prende duas peças por vez, sendo que a máquina realiza exatamente os mesmos movimentos com cada peça. O tamanho do lote varia de 30 a 50 peças; para cada troca de lote, deve-se realizar um *setup*. A Tabela 3 descreve as atividades realizadas durante o *setup* da empresa filmado pela equipe.

Seq.	Descrição da Operação	Maq Parada (Interno)	Maq Usinando (Externo)	Tempo de execução
01	Limpar dispositivo e calços	X		0:01:49
02	Retirar e limpar os pinos localizadores e calços da peça "A"	X		0:01:42
03	Limpeza do dispositivo e orifícios	X		0:00:18
04	Guardar os calços da peça A e pegar os calços da peça "B" *	X		0:03:02
05	Pegar os pinos localizadores da peça "B" *	X		0:01:02
06	Colocar os pinos localizadores no dispositivo	X		0:00:38
07	Posicionar os calços no dispositivo para a peça "B"	X		0:02:22
08	Colocar e alinhar as peças "B" no dispositivo	X		0:02:34
09	Procurar folha de processo da peça *	X		0:01:41
10	Localizar o programa da peça "B" no CNC *	X		0:00:58
11	Guardar os pinos localizadores da peça "A" *	X		0:00:34
12	Zeramento e calibre da ogiva *	X		0:01:17
13	Coleta do ferramental de medição *	X		0:00:58
14	Usinar primeira operação	X		0:03:30
15	Medição 1	X		0:01:55
16	Usinar segunda operação	X		0:03:42
17	Medição 2	X		0:01:55
18	Usinar terceira operação	X		0:01:59
19	Medição 3	X		0:00:55
20	Retirar e limpar as peças do dispositivo	X		0:01:55
21	Desbarbar, lixar e limpar as peças	X		0:02:01
22	Medição final	X		0:03:18

Tabela 3: Descrição das atividades do *setup* filmado. (*) Possibilidade de conversão em *setup* externo. Peças

“A” pertencem ao lote anterior, peças “B” pertencem ao próximo lote.

A análise da filmagem indicou que todas as atividades estavam sendo realizadas com a máquina parada, totalizando 40'05'' de *setup* interno e 0'00'' de *setup* externo. Com pequenas mudanças organizacionais e o desenvolvimento de um kit próprio de ferramentas de medição foi possível converter as atividades 04, 05, 09, 10, 11, 12 e 13 em externas. Após as conversões, realizou-se uma nova filmagem do *setup*, no intuito de documentar os avanços e realizar mais análises.

Para eliminar atividades, ajustes e deslocamentos, a equipe de implantação conduziu uma reunião integrando o engenheiro de processo responsável e o operador da máquina. Foi realizada uma análise sobre a nova filmagem do *setup* e constataram-se problemas referentes a excesso de movimentação, deslocamento e desorganização de informações. Os calços e pinos guia estavam na parte de baixo de uma estante localizada a dois metros da máquina, com pouca identificação e misturados com dispositivos sucateados. As folhas de processo estavam desorganizadas e desatualizadas. Havia a falta de um local apropriado para organizar as ferramentas durante o *setup*. Como resultado, foram desencadeadas as seguintes ações:

1. A eliminação da atividade 01 (Limpar dispositivo e calços): considerada desnecessária, uma vez que o dispositivo pode ser limpo de uma só vez na atividade 03 (Limpeza do dispositivo e orifícios);
2. O desenvolvimento de uma bancada de trabalho maior, aproveitando melhor a área disponível em frente da máquina e contemplando as seguintes peculiaridades:
 - a. Um suporte especial (item 1 da Figura 6) para os pinos localizadores, deixando-os agrupados e identificados próximo ao operador para facilitar o *setup*;
 - b. Um suporte emborrachado (item 2 da Figura 6) para colocar as ferramentas de medição presetadas, deixando-as próximas da porta da máquina para facilitar as medições intermediárias na usinagem;
 - c. A limpeza, seleção, agrupamento e identificação dos calços (item 5 da Figura 6) do dispositivo, evitando deslocamentos desnecessários e eliminando o tempo de procura;
 - d. Dois suportes em cone (item 4 da Figura 6) para as ferramentas pneumáticas de desbaste, facilitando seu manuseio e aumentando o espaço de trabalho na bancada.

3. A organização e agrupamento das folhas de processos (item 6 da Figura 6) em um suporte com boa visibilidade para o operador e próximo da máquina.

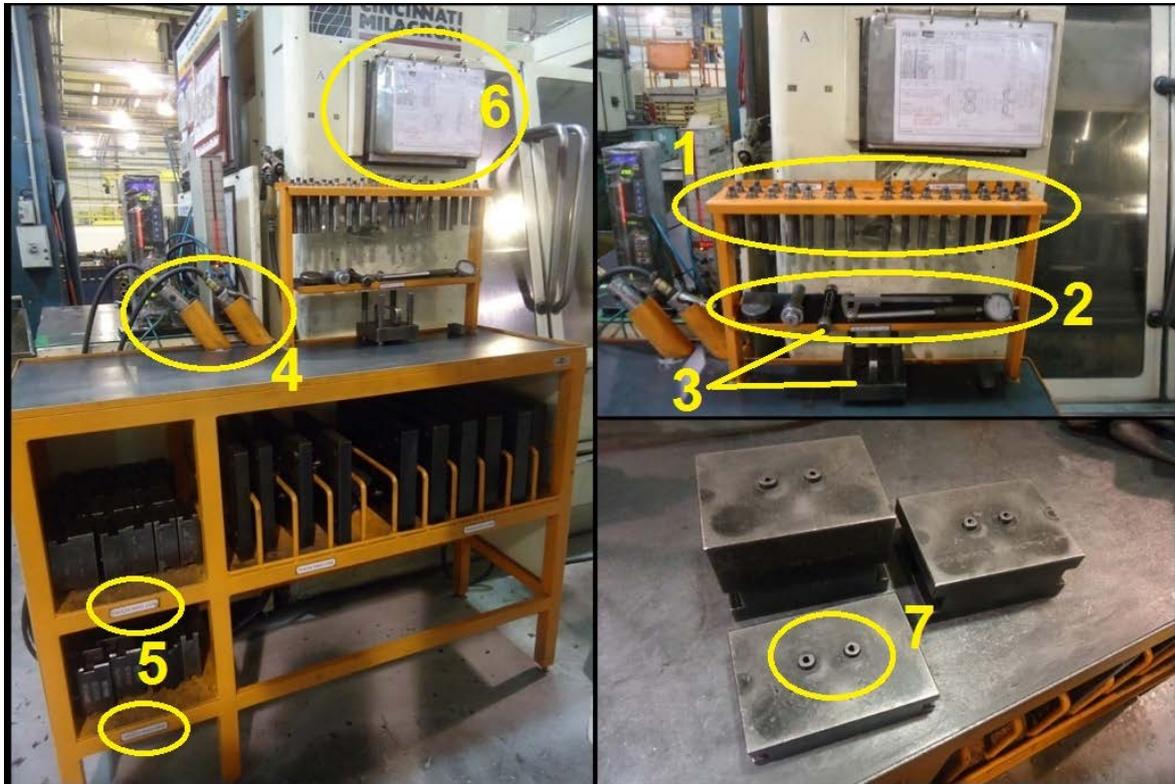


Figura 6: Alterações realizadas pela equipe de implantação da TRF.

4. O desenvolvimento de ferramentas de inspeção do tipo passa/não passa (item 3 da Figura 6), diminuindo o tempo final de medição da peça.
5. A inserção pinos nos calços (item 7 da Figura 6), servindo como guias para o encaixe no dispositivo e facilitando o alinhamento das peças.

Conforme o estudo foi se desenvolvendo, o grupo foi continuamente treinando os operadores envolvidos no processo, os quais se mostraram bastante participativos.

Após realizadas as modificações sugeridas, a equipe reuniu-se novamente com o operador e propôs uma nova sequência de atividades para a realização *setup*, segundo mostrado na Tabela 4. Os novos passos do *setup* foram praticados, contemplando as modificações implantadas pela equipe. A nova operação de *setup* obtida foi arquivada junto às folhas de processo e filmada para servir de material de treinamento para as próximas implementações da TRF.

Seq.	Descrição da Operação	Maq Parada (Interno)	Maq Usinando (Externo)	Tempo de execução
1	Localizar a folha de processo para a peça "B"		X	0:00:25
2	Separar os calços e os pinos guia da peça "B"		X	0:00:34

3	Localizar o programa da peça "B" no CNC		X	0:00:45
4	Retirar os calços e pinos guia da última peça (A)	X		0:00:49
5	Limpar o dispositivo e orifícios	X		0:00:55
6	Colocar os calços e pinos da peça "B" no dispositivo	X		0:00:41
7	Colocar e alinhar as peças "B" no dispositivo	X		0:00:33
8	Usinar primeira operação	X		0:03:30
9	Presetar as ferramentas de medição para peça "B"		X	0:01:44
10	Limpar os calços e pinos da peça "A" e guardá-los		X	0:00:48
11	Medição 1: sobremetal e profundidade da barra de mandrilar	X		0:00:34
12	Usinar segunda operação	X		0:03:42
13	Medição 2: verificar o diâmetro da barra micrométrica	X		0:01:11
14	Usinar terceira operação	X		0:01:59
15	Medição 3: Verificar a profundidade do rebaixador	X		0:00:21
16	Tirar e limpar as peças do dispositivo	X		0:01:15
17	Desbarbar, lixar e soprar as peças	X		0:01:35
18	Medição final	X		0:01:49

Tabela 4: Sequência das atividades e tempos do *setup* proposto.

4.3 Nível de Consolidação

Na consolidação são apresentados os resultados obtidos na implementação piloto, medidas de preparação para expansão da metodologia e uma comparação dos resultados obtidos com a literatura.

4.3.1 Análise dos resultados da implementação piloto

A estabilização da nova sistemática de TRF pode ser verificada através da Tabela 5, a qual foi obtida com a coleta dos tempos de 12 operações de *setup*.

Medições do <i>Setup</i> (min)						Media	Desvio
1º Dia		2º Dia		3º Dia			
19.9	21.5	18.5	19.4	19.6	18.1	19.1	1.2
19.6	20.4	18.2	17.6	19.2	17.7		

Tabela 5: Tempos da operação de *setup* no centro de usinagem após a aplicação da TRF.

A diminuição do deslocamento do operador durante o *setup* pode ser verificada na Figura 7. Essa diminuição foi possível porque todas as ferramentas e dispositivos necessários para a operação do *setup* estavam identificados e agrupados próximo do posto de trabalho. A padronização da ordem das atividades em uma sequência ótima evitou que o operador repetisse movimentos, fazendo apenas o necessário.

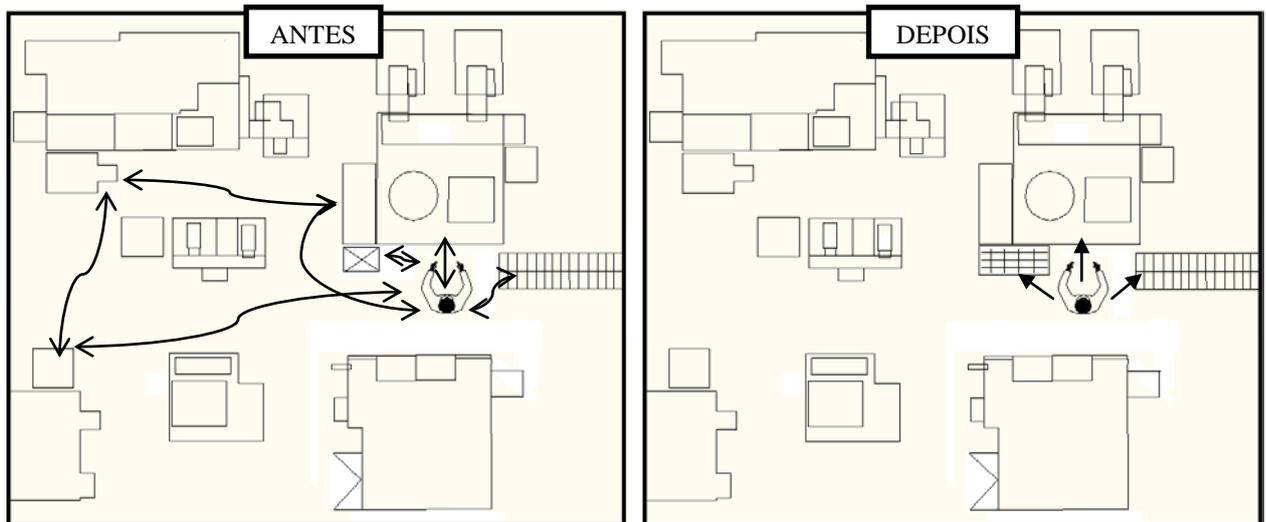


Figura 7: Comparação do deslocamento ANTES e DEPOIS da implementação da TRF.

O tempo médio alcançado com a nova operação de *setup* foi de 19'06'', atingindo uma redução média de 52% em relação à antiga prática do *setup* da máquina e superando a meta estabelecida na etapa estratégica. As reduções mais significativas foram na (i) preparação e limpeza do dispositivo; (ii) nas medições da peça e (iii) no alinhamento da peça no dispositivo. As Figuras 8 e 9 mostram a comparação entre a distribuição do tempo nas atividades do *setup* antes da TRF e depois de sua implantação.

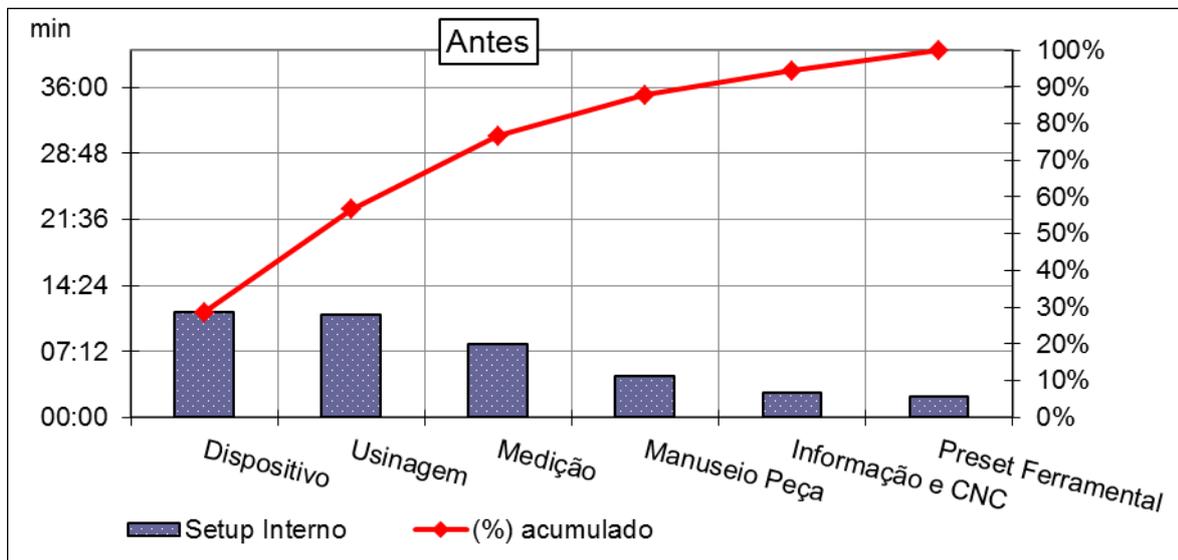


Figura 8: Distribuição do tempo entre as atividades antes da implementação da TRF.

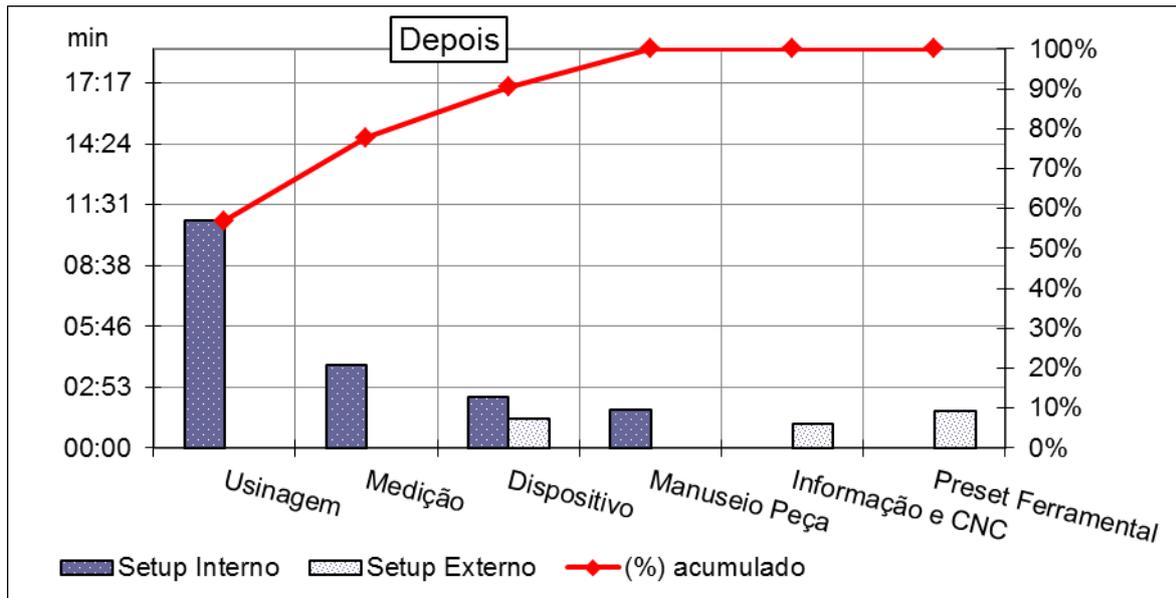


Figura 9: Distribuição do tempo entre as atividades depois da implementação da TRF.

4.3.2 Preparação para a expansão da metodologia

A preparação para a expansão da metodologia se fundamentou na apresentação do trabalho realizado para as demais unidades da empresa, no treinamento dos demais operadores participantes da operação estudada e na disponibilização da equipe para futuros treinamentos.

Foi formulado um material de treinamento contendo todo trabalho desenvolvido pelo grupo: as filmagens, os estudos em todas as fases da aplicação piloto, as soluções propostas pela equipe e especialistas e os resultados alcançados.

A equipe apresentou o material desenvolvido na aplicação piloto em uma reunião contendo representantes de cada uma das quatro unidades de negócio da empresa. O objetivo da reunião foi apresentar a base de treinamento desenvolvida e promover a disseminação da metodologia com a formação de futuras equipes de implantação da TRF nos demais processos da empresa.

4.4 Comparação com a literatura

O Quadro 1 apresenta uma comparação das principais abordagens da literatura de TRF com a abordagem desenvolvida neste estudo.

Abordagens da literatura elementos	Conceição et al. 2009	Neuman e Ribeiro 2004	Fogliatto e Fagundes 2003	Costa et al. 2004	Trovinger e Bohn 2005	Estudo de caso realizado
Fase preparatória – SMED 0	X	X	X			Apoio da gerência; formação da equipe e definições estratégicas de abordagem
Padronização de ferramentas necessárias	X		X	X	X	Desenvolvimento de ferramentas passa/não passa
Utilização de kits de ferramentas	X		X	X	X	Desenvolvimento de um kit próprio de ferramentas de medição
Gerenciamento visual, atualizações e agrupamento de informações	X	X	X	X	X	Atualização das folhas de processo; identificação dos dispositivos; folha passo-a-passo do <i>setup</i>
Utilização de guias	X		X			Inserção de pinos nos calços, guiando o encaixe no dispositivo
Preparação para expansão da metodologia	X	X	X			Formulação de um material de treinamento; envolvimento das demais áreas
Reduções alcançadas	44%	50%	83%	55%	79%	52%

Quadro 1: Comparação das abordagens da literatura e deste estudo

5. Conclusão

O mercado da manufatura metal-mecânica está cada vez mais dinâmico, gerando demandas instáveis e exigindo menores tempos de resposta para fabricar um produto cada vez mais customizável. A TRF possibilita a redução dos tempos de *setup*, pré-requisito para fabricação em pequenos lotes.

Neste trabalho foram adaptadas metodologias propostas a partir da revisão bibliográfica, desenvolvendo-se uma sistemática de redução de tempos de *setup* para uma implementação piloto em empresa do setor metal-mecânico. A sistemática utilizada contempla tanto etapas estratégicas de convencimento da gerência, seleção do processo e definição e treinamento da equipe, quanto etapas operacionais como a TRF de Shingo propriamente dita, além de uma etapa de consolidação.

A etapa estratégica teve uma importância fundamental porque marcou o comprometimento da alta gerência e contextualizou o projeto piloto dentro das necessidades da empresa. A etapa operacional enxugou e padronizou a operação

selecionada, reduzindo deslocamentos, agrupando informações e padronizando o ferramental.

A implantação piloto superou a meta estipulada de 40% obtendo reduções médias de 52%. O trabalho desenvolvido na implantação permitiu aos funcionários envolvidos a assimilação do potencial de melhorias decorrentes da TRF.

Finalmente, a etapa de consolidação preparou o ambiente para a disseminação da metodologia para toda empresa. Isso foi obtido através da realização de treinamentos, da formulação de um material e da apresentação dos resultados obtidos no projeto piloto para todas unidades de negócio da empresa.

Referências Bibliográficas

CONCEIÇÃO, S. V.; RODRIGUES, I. A.; AZEVEDO, A. A.; ALMEIDA, J. F. Desenvolvimento e implementação de uma metodologia paratroca rápida de ferramentas em ambientes de manufatura contratada. **Gestão e Produção**, v. 16, n. 3, p. 357-369, jul.-set. 2009.

COSTA, A.; ZEILMANN, R. P.; SCHIO, S. M. Análise de Tempos de Preparação em Máquinas CNC. **O Mundo da Usinagem**, n. 4, 2004.

FOGLIATO, F.S.; FAGUNDES, P.R.M. Troca Rápida de Ferramentas: Proposta Metodológica e Estudo de Caso. **Gestão e Produção**, v.10, n.2, p.163 – 181, ago. 2003.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura Enxuta: Uma Revisão que Classifica e Analisa os Trabalho Apontando Perspectivas de Pesquisas Futuras. **Gestão e Produção**, v. 11, n. 1, p. 1-19, jan-abr, 2004.

GOLDRATT, E.; FOX, J. **A meta: um processo de aprimoramento contínuo**. São Paulo: Educador, 1997.

GOUBERGEN, D.; LANDEGHEM, H. An integrated methodology for more effective set-up reduction. **IIE SOLUTIONS 2001 Conference**. Dallas: Institute of Industrial Engineers, 2001.

GOUBERGEN, D.; Set-up reduction as an organization wide problem. **Proceeding of the IIE Solutions 2000**, Cleveland, Ohio.

GÜNTHER, H. Pesquisa Qualitativa Versus Pesquisa Quantitativa: Esta É a Questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Mai-Ago 2006, v. 22 n. 2, pp. 201-210.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2008.

McINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; MILEHAM, A. R. A critical evaluation of Shingo's 'SMED' methodology. **International Journal of Production Research**, v. 38, n. 11, p. 2377-2395, 2000.

MONDEN, Y. **Produção sem estoques: um abordagem prática ao sistema de produção da Toyota**. São Paulo: IMAM, 1984.

MOXHAM, C.; GREATBANKS, R. Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: a study in a textile processing environment. **International Journal of Quality and Reliability Manufacturing**, v. 18, n. 4, p. 404-414, 2000.

NEUMANN, C. S. R.; RIBEIRO, J. L. D. Desenvolvimento de fornecedores: um estudo de caso utilizando a troca rápida de ferramentas. **Produção**, v. 14, n. 1, 2004.

OHNO, Taiichi **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

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*. **Gestão e Produção**, v. 17, n. 3, p. 579-588, 2010.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

SALOTO, E.G.; CALARGE, F.A. Troca Rápida de Ferramentas: estudo de casos em diferentes segmentos industriais. **Exacta**, v. 6, n. 2, p. 283-296, jul./dez. 2008.

SHINGO, S. (1996). **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

SHINGO, S. **Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement**. Cambridge: Productivity Press, 1988.

SHINGO, S. **Study of Toyota Production System from an industrial engineering viewpoint**. Cambridge: Productivity Press, 1981.

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

THARISHENEPREM, S.; Achieving Full Fungibility and Quick Changeover By Turning Knobs In Tape and Reel Machine. **33rd International Electronics Manufacturing Technology Conference**, 2008.

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, Summer 2005.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 200

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas Empresas: elimine desperdício e crie riqueza**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.