



**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
MBA EXECUTIVO EM LEAN MANUFACTURING**

RENAN CARDOSO DOS SANTOS

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
SMED NA REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP EM UMA
LINHA DE USINAGEM**



RENAN CARDOSO DOS SANTOS

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
SMED NA REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP EM UMA
LINHA DE USINAGEM**

Artigo apresentado ao MBA
Executivo em Lean Manufacturing
do CENTRO UNIVERSITÁRIO
SENAI CIMATEC como
requisito parcial para obtenção do
título de Pós-graduado em Lean
Manufacturing.

Orientador(a): prof. Carlos César
Ribeiro Santos.

Salvador (BA)
2018

ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SMED NA REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP EM UMA LINHA DE USINAGEM

CASE OF STUDY APPLICATION OF SMED METHODOLOGY IN THE REDUCTING SETUP TIME IN A MACHINING LINE.

SANTOS, Renan Cardoso¹

RESUMO

Diante do desenvolvimento tecnológico na área de manufatura em operações de usinagem com alta produtividade e flexibilidade, as máquinas CNCs (*Computer Numeric Control*) possuem um elevado nível de automação, velocidade e precisão e um dos seus principais desafios é a redução do tempo de *setup* para aumento da disponibilidade. Desta forma, a metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) desenvolvida por Shigeo Shingo entre 1950 e 1969 no Japão, surge como uma solução na redução do tempo de *setup*. O objeto de estudo é uma linha de usinagem com 18 CNCs em um Sistema Flexível de Manufatura (FMS) que apresenta dificuldade em atingir a disponibilidade operacional devido as constantes trocas de ferramentas por vida útil. O principal objetivo deste artigo é apresentar como a Empresa XYZ (nome fictício) pode reduzir o tempo de máquina parada e número de troca de ferramentas, além de, objetivos específicos como: explorar a metodologia SMED e a técnica de *Sister Tooling*; expor a técnica de *presetting* (pré-ajustagem) e Trocadores Automático de Ferramentas (ATC) disponíveis. A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste artigo, é a pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Diante dos resultados, a troca de ferramentas é o principal contribuidor com 26.8% do tempo total de máquina parada dos CNCs, após aplicação da metodologia SMED foi possível obter uma redução de 52% no tempo de *setup*, e juntamente com o uso da técnica de *sister tooling*, houve um aumento de 92% do MTBF (Tempo Médio Entre Falhas).

Palavras-chave: *setup*, TRF, CNC, centro de usinagem, SMED, ferramenta-irmã, ATC, FMS

ABSTRACT

Due to the technological development in the manufacturing area in machining operations with high productivity and flexibility, CNC machines (*Computer Numeric Control*) have a high level automation, speed and precision and one of their main challenges is the reduction of setup time for increased availability. In this way, the SMED (*Single Minute Exchange of Die*) methodology developed by Shigeo Shingo between the year 1950 and 1969 in Japan, appears as a solution in the reduction of setup time. The object study is a machining line with 18 CNCs in a Flexible Manufacturing System (FMS) that presents difficulties in achieving operational availability due to constant tool changes per lifetime. The main objective of this article is to present how the Company XYZ (fictitious name) can reduce the machine downtime and tool change failure number, besides specific objectives such as: to explore the SMED methodology and the *Sister Tooling* technique; expose the *presetting* technique and available Automatic Tool Changers (ATC). The methodology used for the development of this article is the bibliographic research and case study. In view of the results, tool change is the main contributor with 26.8% of the total CNC machine stopped time, after applying the SMED methodology it was possible to obtain a reduction of 52% in setup time, and together with the use of *sister tooling* technique, there was a 92% increase in MTBF (*Mean Time Between Failure*).

Keywords: *setup*, quick change tooling system, CNC, machining, SMED, *Sister tooling*, ATC

¹Graduado em Engenharia Mecatrônica

1. INTRODUÇÃO

Diante do cenário econômico atual, as empresas estão buscando cada vez mais alternativas para se manterem competitivas, exigindo-as em encontrar novas soluções para maximizar a eficiência dos seus processos e recursos, aumentando a produtividade e reduzindo custos com a eliminação de desperdícios. Uma destas soluções utilizadas é a metodologia de Troca Rápida de Ferramentas (TRF) difundidas a partir dos conceitos de manufatura enxuta, originalmente conhecida como *Single Minute Exchange of Die* (SMED) que foi desenvolvido por Shigeo Shingo ao longo de três etapas.

A primeira etapa iniciou por volta de 1950 na planta da Mazda de Toyo Kogyo em Hiroshima, onde Shigeo identificou e classificou os tempos de preparação em *setup* interno e externo ao analisar as atividades de troca de matrizes de uma prensa. A segunda etapa aconteceu no estaleiro da Mitsubishi Heavy Industries no ano de 1957 em Hiroshima, na qual foi realizada a duplicação de ferramentas para que o *setup* fosse realizado de forma separada, gerando um aumento de 40%.

E por fim, a última etapa foi realizada em 1959 na Toyota Motor Company na qual cada operação de *setup* com prensas de 1.000 toneladas fosse gasto 4 horas de trabalho. Inicialmente Shigeo conseguiu reduzir este tempo para 90 minutos, posteriormente, após aplicar novos conceitos de conversão do tempo de *setup* interno em externo, Shigeo obteve grandes resultados na redução do tempo de máquina parada para apenas 3 minutos. Após o período de 19 anos de resultados de análises detalhadas de aspectos teóricos e práticos, Shigeo publicou sua metodologia que recebeu a sigla SMED (*Single-minute exchange of die*) que traz o significado: troca de matrizes em menos de dez minutos. (SHINGO, 2000)

Dentre as principais técnicas que compõem o Sistema Toyota de Produção, o SMED é certamente uma das ferramentas mais importantes.

Como afirma Shingo (2000), “acredito firmemente que o sistema de TRF é o método mais efetivo para se atingir a produção *just in time*”.

Dentro deste contexto, um dos principais desafios das indústrias metalúrgicas na área de usinagem é a necessidade de oferecer um processo com maior flexibilidade e aumentar a disponibilidade das máquinas, reduzindo o tempo de troca de ferramentas ou tempo de *setup* em centros de usinagem. Estes centros de usinagem são equipados com um sistema de CNC (*Computer Numerical Control*) que permite o controle total dos eixos da máquina de forma simultânea através de uma lista de movimentos escritas em uma linguagem de programação.

Uma destas maiores evoluções tecnológicas disponíveis na área de usinagem com um alto nível de automatização é o Sistema de Troca Rápida de Ferramentas (*Quick Change Tooling System*) em centros de usinagem. É utilizado para aumentar a capacidade do processo em produzir pequenos lotes com baixo custo e reduzir o tempo de troca de ferramentas em poucos minutos, entretanto, mesmo este tempo serem relativamente baixo pode ser bastante significativo em processos de alta produtividade, considerando um alto número destas interrupções para troca de ferramentas em um processo com diversos centros de usinagem conectados em um Sistema Flexível de Manufatura (SFM) para atender um maior volume e *mix* de produção.

O trabalho apresentado neste artigo foi realizado em uma linha de usinagem do tipo SFM, composta por centros de usinagem distribuídos em diferentes operações em uma empresa a qual será respeitada o sigilo industrial, desta forma, a chamaremos de “*Empresa XYZ*”. A *Empresa XYZ* apresentava elevado número de trocas de ferramentas gerando indisponibilidade operacional das operações de usinagem.

Em virtude da indisponibilidade operacional da Empresa XYZ devido ao elevado número de trocas de ferramentas, este artigo científico apresenta a seguinte questão investigativa: Quais são as principais falhas que impactam a operação gargalo das máquinas CNCs na linha de usinagem da empresa objeto deste artigo científico?

Desta maneira, o principal objetivo deste trabalho consiste em apresentar como a Empresa XYZ pode reduzir o número de interrupções e o tempo de máquina parada devido as constantes trocas de ferramenta em máquinas CNCs durante o tempo produtivo da linha de usinagem. Os objetivos específicos desta pesquisa são: a) Descrever os principais conceitos da metodologia SMED e sua aplicação para redução do tempo de *setup*; b) apresentar as técnicas de *presetting*, trocadores automáticos de ferramentas (ATC); c) expor a técnica de *sister tooling* utilizadas para redução do tempo de *setup* nas máquinas CNCs estudadas da empresa objeto deste estudo de caso.

O artigo apresentado foi organizado da seguinte forma: a Seção 2 aborda os princípios da metodologia SMED e sua aplicação para redução de *setup* em linhas de usinagem, além de outras técnicas utilizadas como: *presetting*, ATC e *sister tooling* também utilizadas para redução do tempo de *setup*; a Seção 3 comenta a metodologia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento do trabalho; em seguida, a Seção 4 cita a contextualização da empresa objeto do estudo de caso e como que foram aplicadas as técnicas e metodologias aqui demonstradas, relacionadas ao problema de pesquisa e objetivo geral, bem como, os resultados alcançados; e por fim, a Seção 5 discute as conclusões e considerações finais deste estudo de caso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Metodologia SMED

A metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) pode ser traduzida por Troca Rápida de Ferramenta (TRF) em um dígito de minuto que determina que os *setups* sejam realizados em menos de 10 minutos. No Brasil, o uso da sigla TRF é comumente utilizado, entretanto, a própria sigla SMED será utilizada neste artigo por razões conceituais e por ser conhecida mundialmente. O tempo de preparação ou tempo de *setup*, de acordo com Kannenberg (1994) é o intervalo de tempo que ocorre desde o término da

última peça boa do lote anterior até a saída da primeira peça boa do próximo lote. Esta definição pode ser representada na figura 01 abaixo:

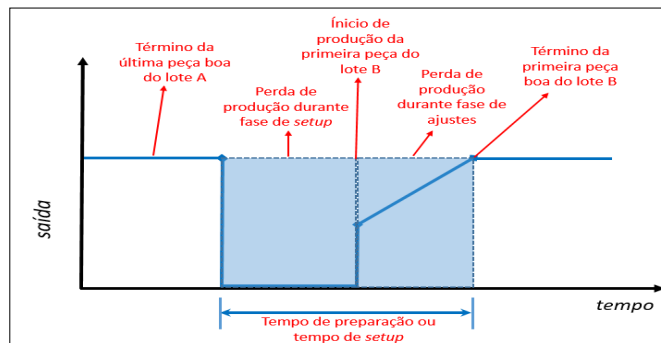


Figura 01. – Ilustração da definição do tempo de setup

Fonte: Adaptado de Bacchi, Sugai e Novaski (2005)

Com base nesta definição e em suas observações durante as atividades de *setup*, Shingo (2000) percebeu a necessidade de classificar o tempo de *setup* em dois grupos de atividades:

- *Setup* Interno – Atividades que podem ser realizadas apenas quando a máquina está parada, exemplo: troca do molde ou matriz e ajustes do ferramental;
- *Setup* Externo – Atividades que podem ser realizadas enquanto a máquina está em operação, exemplo: preparação de ferramentas, transporte de matrizes para o almoxarifado;

A partir desta classificação, Shingo (2000) aborda a metodologia SMED para redução do tempo de *setup* em quatro estágios conceituais e técnicas aplicadas:

- Estágio Preliminar: *setup* interno e externo não se diferenciam

Neste estágio o que ocorre é que as atividades que poderiam ser realizadas externamente são realizadas internamente, conseqüentemente as máquinas ficam paradas por muito tempo. Sendo assim, nesta fase, Shingo (2000) propõe uma avaliação do estado atual durante o *setup*, utilizando um cronômetro, um estudo do método, a entrevista com os operadores ou a

filmagem, bastante utilizada para realizar uma avaliação minuciosa das atividades na próxima fase.

- Estágio 1: Separando *setup* externo e interno

Nesta etapa, é onde as atividades são classificadas e separadas em *setup* interno e externo por meio da análise da filmagem realizada na etapa anterior juntamente com o uso de outras técnicas como: *check-lists* para verificar os componentes e os passos necessários para a atividade; verificações das condições de funcionamento dos ferramentais e dispositivos; e melhoria no transporte de ferramentas e dispositivos. (SHINGO, 2000). Esta etapa é considerada uma das mais importantes do SMED, conforme Shingo (2000) comenta:

[...] se for feito um esforço científico para realizar o máximo possível da operação de *setup* como *setup* externo, então, o tempo necessário para o interno pode ser reduzido de 30 á 50%. Controlar a separação entre *setup* interno e externo é o passaporte para atingir o SMED.'

- Estágio 2: Convertendo *setup* interno em externo

O estágio 2 propõe duas atividades importantes: reexaminar as operações para verificar se alguma das operações tenha sido erroneamente classificada como interno; e avaliar a possibilidade de converter as atividades internas em externas. Técnicas como a preparação antecipada das condições operacionais como: temperatura, pressão podem ser separadas como *setup* externo, além da padronização das funções de peças e ferramentas. (Shingo, 2000).

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

Utilizando uma outra abordagem mais abrangente para este estágio, em um outro livro de Shingo (1988): "Melhoria Sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo" é percebido que este estágio refere-se ao SMED como melhoria contínua. Sendo assim, a proposta para esta etapa, de

acordo com Shingo (2000) é uma análise detalhada de cada elemento da operação, analisando sua possível redução ou eliminação das atividades que não agregam valor. Técnicas como a eliminação de ajustes, implementação de atividades em paralelo, melhoria na estocagem e transporte de materiais e ferramentas, uso de fixadores funcionais (substituição de parafusos com roscas longas), sistema mínimo múltiplo comum e mecanização a padronização das funções, podem ser utilizadas. (SHINGO, 2000)

De acordo com Shingo (2000), os benefícios proporcionados com a implantação da metodologia SMED são inúmeros: velocidade, facilidade nas atividades de *setup*, aumento da capacidade produtiva, aumento da utilização das máquinas com a redução de *downtime*, flexibilidade e rapidez na produção de lotes menores, redução de estoques intermediários, redução de produtos defeituosos e redução de custos pela eliminação de retrabalho e desperdícios de materiais entre outros.

2.2. Técnicas aplicadas para redução do tempo de *setup* em Centros de Usinagem

Com o desenvolvimento das tecnologias das indústrias de manufatura que envolve operações de usinagem, os centros de usinagem são exigidos cada vez mais um nível elevado de precisão, velocidade e automação devido serem utilizados em processo de alta produtividade e flexibilidade em um Sistema Flexível de Manufatura conforme a Figura 02 abaixo (SMITH, 2008):

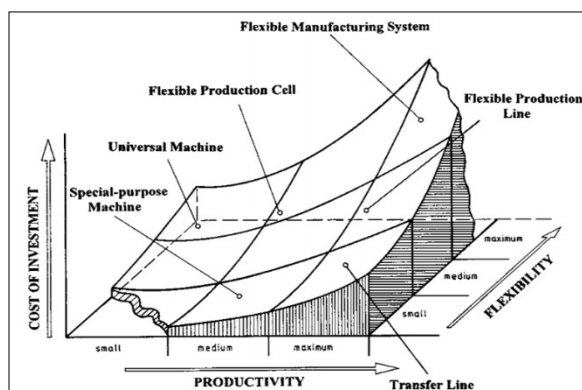


Figura 02. – Sistemas de Manufatura baseado nos critérios de: nível de automação, produtividade e custo de investimento

Fonte: (SMITH, 2008)

As máquinas CNCs são multifuncionais, projetadas para executar uma série de operações em uma única configuração do trabalho, onde diversas ferramentas podem ser utilizadas para usinar uma única peça complexa. (NIU, 2016). A redução do tempo de *setup* é um dos principais objetivos das indústrias que envolvam operações de usinagem pelos seguintes motivos de acordo com Fogliatto e Fagundes (2003):

- a) Quando o custo de *setup* é alto, o tamanho dos lotes de peças manufaturadas tendem a ser grandes, sendo necessário aumentar o investimento em estoques maiores;
- b) As técnicas mais simples e rápidas nas trocas de ferramentas reduz a possibilidade de erros no ajuste da máquina CNC;
- c) A redução do tempo de *setup* irá aumentar a disponibilidade do equipamento, resultando em mais horas disponíveis para produzir;

Desta forma, diversas técnicas são aplicadas por estas indústrias, afim de, reduzir o tempo de *setup*, maximizando a produtividade destes equipamentos. Algumas das principais técnicas são descritas abaixo:

2.2.1. Sistemas de *presetting*

De acordo com Santos *et al* (2006) nos processos de usinagem existem ajustes necessários para preparação da máquina-ferramenta, este tempo de preparação influencia de forma significativa na disponibilidade da máquina resultando em perdas produtivas, de tal forma que, reduzir este tempo é um fator significativo para a sobrevivência e competitividade, fazendo com que estas empresas busquem novas soluções como equipamentos de *presetting* ou pré-ajustagem de ferramentas. Estes equipamentos são importantes para garantir que a ferramenta seja montada de forma correta nas máquinas-ferramenta com precisão, segurança e rapidez.

A pré-ajustagem pode ser classificadas de forma manual e automático. O *presetting* automático é bastante utilizado devido ser realizado com a máquina operando, além de, oferecer rapidez, confiabilidade e precisão das

medições. O *presetting* automático pode ser do tipo: interno – equipamentos chamados de *toolsetters* que são instalados sobre a mesa de trabalho ou em partes internas da máquina CNC, podendo ser por contato mecânico ou *laser*, e são utilizados para detectar quebra de ferramentas; externo – realizado por equipamentos conhecidos como *presettters*, geralmente localizados distantes da máquina-ferramenta em uma sala de ferramentas. (Santos et al, 2006)

De forma geral, algumas empresas de operações de usinagem consideram que os *presettters* são ideais para produção de grandes lotes, todavia, Aronson (2000) cita que estes equipamentos podem ser adequados para pequenos lotes de produção devido oferecer uma maior precisão e eliminação de perdas de peças no processo. Exemplificando o fluxo de um *presetting* é descrita da seguinte forma abaixo (figura 03):

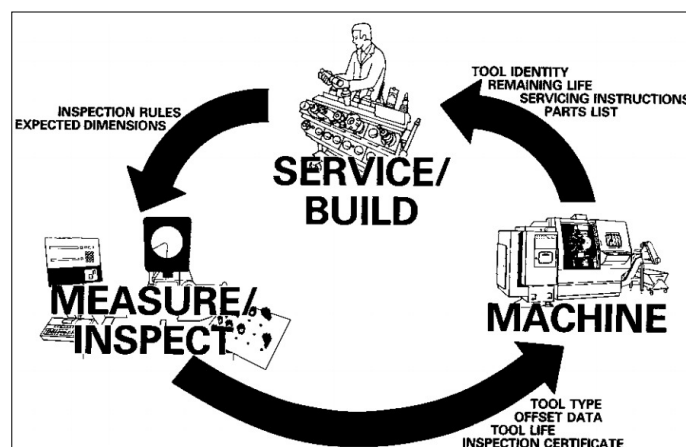


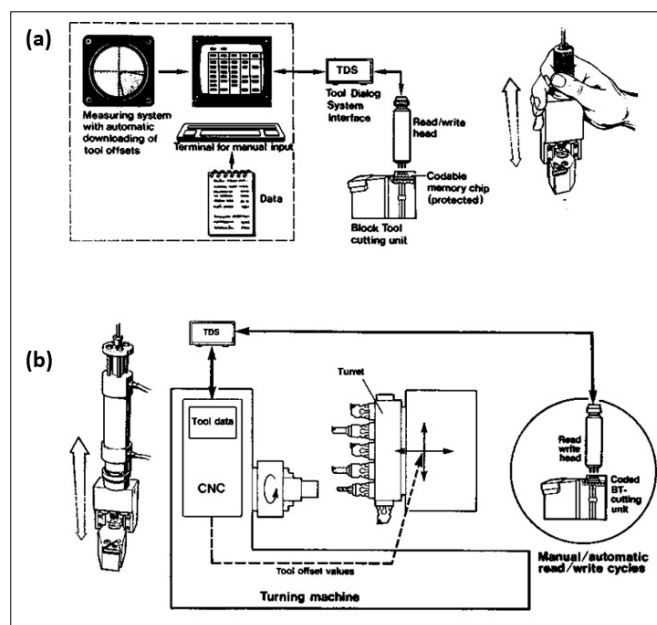
Figura 03. – Fluxo eficiente de uma atividade de *presetting*

Fonte: (SMITH, 2008)

Segundo Smith (2008), no primeiro momento, é realizado a montagem pré-definida de novas ferramentas ou devido a substituição de componentes desgastados que são montados a partir de ferramentas modulares ou uma série de componentes estocados e padronizados no estoque. Estas ferramentas são disponibilizadas para a próxima etapa, onde é realizado a medição através de um *presetter*, a máquina CNC precisa “conhecer” as dimensões da ferramenta de corte, e estas dimensões referem-se á um ponto fixo de ajuste no porta-ferramenta, além disto, informações como: identificação,

dados de corte, compensação e vida útil, são codificadas e carregadas em *microchips* de memória de leitura/ escrita, fixados no porta-ferramenta, processo conhecido como *tagged tooling* (figura 04-a).

Em seguida, estas ferramentas são disponibilizadas para serem utilizadas nas máquinas, onde as informações escritas na etapa anterior são lidas, toda vez que, a ferramenta é carregada no magazine de ferramentas e atualizada o arquivo de dados da ferramenta na máquina CNC (figura 04-b). Por fim, estas ferramentas de corte são descarregadas da máquina ao atingir o fim da vida útil ou durante quebras e posteriormente disponibilizadas para sala de ferramentas realizar inspeção e repetir o fluxo novamente. (SMITH, 2008)



**Figura 04. – (a) Fluxo do processo de *Tagged tooling*;
(b) leitura dos dados da ferramenta pela máquina-ferramenta**

Fonte: (SMITH, 2008)

2.2.2. Trocador Automático de ferramentas (ATC)

Estas máquinas CNC são equipadas com uma tecnologia conhecida como ATC (*Automatic Tool Changer*), traduzindo, significa Trocador de

Ferramenta Automático, seu principal objetivo é: reduzir os tempos não-produtivos substituindo de forma automática (em poucos segundos) as ferramentas de corte necessárias para cada operação sem a necessidade de intervenção humana (trocador manual) durante a usinagem de peças complexas; eliminar erros do operador ao fixar a ferramenta de forma incorreta; aumenta a capacidade da máquina para trabalhar com várias ferramentas, além de, utilizar para substituir ferramentas com fim de vida útil e quebradas. (OBREJA, 2012)

De acordo com Obreja (2012), um centro de usinagem equipada com um sistema de ATC é composto basicamente por: porta-ferramenta- projetados para que as ferramentas de corte possam ser facilmente posicionadas ao fuso da máquina; magazine de ferramenta – responsável pelo armazenamento dos portas-ferramenta; pinça de fixação da ferramenta (*tool gripper*)– utilizado para fixar nos portas-ferramenta; braço de suporte ou braço trocador – possui a função de transportar a ferramenta entre o magazine e o fuso da máquina. Estes componentes podem ser visualizados na figura 05 abaixo:

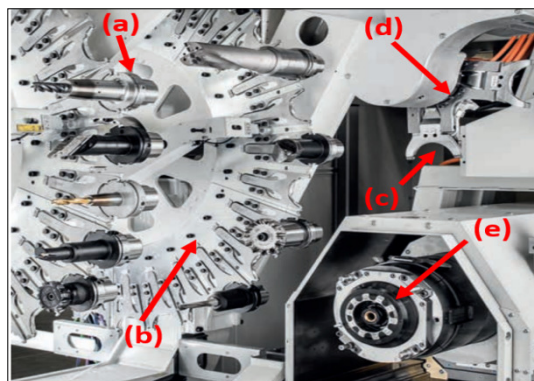


Figura 05. – Foto de componentes de um ATC do tipo magazine duplo: (a) Porta ferramenta padrão HSK, (b) magazine de ferramentas, (c) pinça de fixação, (d) braço-trocador, (e) fuso.

Fonte: Adaptado da página do Grob Group na internet¹

¹Disponível em: <<http://www.grobgroup.com/downloads.html>> Acesso em abril, 2018.

2.2.3. *Sister Tooling*

O *Sister tooling* ou ferramenta-irmã na forma traduzida, permite a duplicação das ferramentas com alto uso, pois são mais suscetíveis a quebras, desgastes ou vida útil baixa, permitindo que a máquina CNC possa trabalhar ininterruptamente por um longo período sem a intervenção necessária do operador para realizar a troca da ferramenta. (SMITH, 2008).

As máquinas CNC podem monitorar o uso da ferramenta tanto pelo tempo quanto um limite pré-estabelecido da quantidade de ciclos de usinagem. Ao atingir este limite, a máquina CNC informa ao operador que necessita realizar a substituição da troca da ferramenta de corte, sendo necessário parar o equipamento para toda vez que estas ferramentas de alto uso atingir determinado limite. Sendo assim, as ferramentas-irmãs são carregadas no magazine de ferramentas, desde que, tenha *pockets* disponíveis no magazine.

Neste momento, ao atingir a vida útil da ferramenta, o controlador CNC irá verificar que existe uma ferramenta-irmã disponível no magazine para determinada ferramenta, sendo assim, o controlador CNC seleciona a ferramenta-irmã para utilização e bloqueia a ferramenta antiga para que não seja utilizada e sinalizada ao operador. A desvantagem desta técnica é a necessidade de um investimento para adquirir um magazine maior que ofereça *pockets* extras, além de, ser necessário um segundo *set* de ferramenta.

3. REFERENCIAL METODOLÓGICO

Para a realização deste trabalho, as metodologias utilizadas foram a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso.

Segundo Gil (2002), a pesquisa bibliográfica pode ser definida como um estudo exploratório que tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, desenvolver idéias e hipóteses para investigação. Ainda segundo Gil (2002), na maioria dos estudos desenvolvidos é exigido uma pesquisa bibliográfica, constituído principalmente por artigos e livros. A pesquisa

bibliográfica deste trabalho foi realizada primeiramente, de tal forma, a adquirir conhecimento das principais técnicas utilizadas nas modernas organizações a nível mundial para este processo, além de, poder obter uma maior utilização dos recursos das máquinas CNCs. A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida em artigos e livros conforme tabela (APÊNDICE A).

Segundo Yin (2001), o estudo de caso é definido como “[...] capacidade de lidar com uma completa variedade de evidências – documentos, artefatos, entrevistas e observações”. Ainda segundo Yin (2001), o estudo de caso é mais adequado quando eventos contemporâneos são estudados, em circunstâncias em que comportamentos relevantes não podem ser manipulados, entretanto, é possível que observações diretas e entrevistas sistemáticas sejam conduzidas. De acordo com Yin (2001), o estudo de caso pode ser aplicado em estudos organizacionais, gerenciais e da administração pública. A coleta de dados é realizada principalmente através das técnicas de entrevista e observação, além de outras que podem ser utilizadas como: questionário e análise de documentos. (YIN, 2001).

Este artigo científico é um estudo de caso em uma empresa, de nome fictício XYZ, que possui uma linha de usinagem. O desenvolvimento do trabalho foi realizado dentro da fase de *Melhorar* da metodologia *Lean Six Sigma*/ DMAIC (Definir; Medir; Analisar; Melhorar; Controlar) utilizando a ferramenta SMED como solução do problema. Os fenômenos (variáveis) estudados foram o número de troca de ferramentas e tempo de máquina parada devido ao *setup*, os dados foram obtidos através de um sistema supervisorio em tempo real da linha de usinagem responsável pelo monitoramento da performance dos equipamentos.

A coleta de dados foi realizada com base na observação da cronometragem do tempo e filmagens das atividades de troca de ferramenta realizada pelos operadores, *check-lists* foram usados para classificar e separar as atividades de *setup* interno e externo. Gráficos de Pareto foram utilizados na fase de análise de dados. Após implementar as ações, o trabalho foi

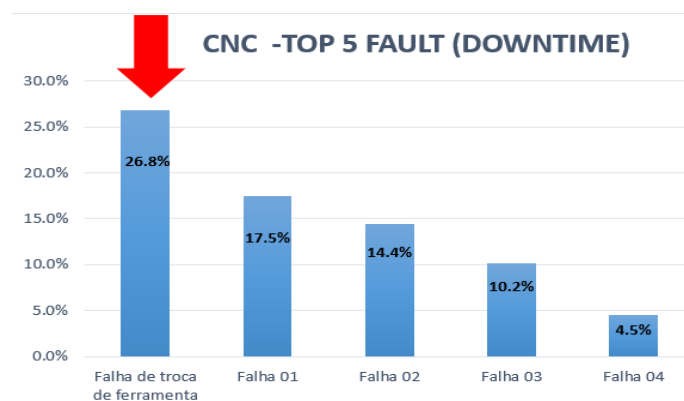
padronizado nas folhas de instruções dos operadores (OIS) para garantir os ganhos obtidos após um período de quatro meses de maturação dos dados.

4. ANÁLISE DE DADOS

O trabalho apresentado foi desenvolvido em uma linha de usinagem de uma fábrica, distribuídas em 4 operações diferentes de usinagem (denominadas de: #A, #B, #E, #F) em um turno produtivo. Este artigo apresentou na seção introdutória a seguinte questão investigativa: Quais são as principais falhas que impactam nas operações gargalo das máquinas CNCs na linha de usinagem da empresa objeto deste artigo científico?

De acordo com o gráfico Pareto abaixo (gráfico 01) é possível identificar que a falha de troca de ferramenta é o principal contribuidor do gargalo das máquinas CNCs, com 26.8% do tempo total de máquina parada das operações de usinagem, correspondendo uma indisponibilidade de 2.5%. Esses dados foram coletados durante um período de 4 meses nas máquinas CNCs.

Gráfico 01. – Gráfico Pareto das top 5 principais falhas nos centros de usinagem classificadas por % de máquina parada



Fonte: Próprio Autor

Desta forma, o principal objetivo deste trabalho consiste em apresentar como a Empresa XYZ pode reduzir o número de interrupções e o tempo de máquina

parada devido as constantes trocas de ferramenta em máquinas CNC durante o tempo produtivo da linha de usinagem.

Sendo assim, o desenvolvimento deste trabalho acontece em 2 etapas: A primeira etapa, é aplicada a metodologia SMED com a proposta de reduzir o tempo de máquina parada durante as troca de ferramenta, que atualmente representa cerca de 2.13min. para cada troca de ferramenta. Já a segunda etapa, o principal objetivo é reduzir o número de intervenções de troca de ferramenta, que em média são realizadas 27 intervenções de troca de ferramenta nas operações de usinagem durante o horário produtivo de um turno de trabalho.

4.1. Aplicação da metodologia SMED

4.1.1. Estágio Preliminar

A avaliação do estado atual foi realizado por meio de filmagens durante as trocas de ferramentas realizadas por 4 operadores de CNCs de diferentes operações. Cada operador foi filmado durante suas atividades normais em 3 trocas de ferramenta de um mesmo tipo, classificadas como ferramentas leves e sem necessidade de ajustes. Verificando a filmagem junto com a equipe de trabalho, foi criada uma planilha com os tempos médios de cada operador (tabela 01) e verificou-se que não existia uma diferença significativa (variação de +/- 10% do tempo médio) quanto ao tempo de troca de ferramenta entre os operadores, o método utilizado foi semelhante entre os operadores.

Tabela 01. – Tempo médio de troca de ferramenta entre operadores

OPERADOR	TEMPO (min)	VARIAÇÃO (%)
OPERADOR 01	2.70	-0.2%
OPERADOR 02	2.58	-4.5%
OPERADOR 03	2.88	6.6%
OPERADOR 04	2.65	-2.0%
MÉDIA	2.70	

Fonte: Próprio Autor

Desta forma, optou-se em utilizar apenas um operador CNC (Operador 01) como referência para desenvolvimento das etapas seguintes, já que, as técnicas serão padronizadas e cascadeadas para todos os demais operadores de CNCs.

4.1.2. Estágio 1: Separando *setup* externo e interno

Após análise da filmagem foi observado e registrado o passo-a-passo da atividade de troca de ferramenta, classificando-os em tempo interno e externo, conforme tabela 02 abaixo:

Tabela 02. – Análise de Setup do estado atual

SEQ.:	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	SETUP	DURAÇÃO (min)	INÍCIO	FINAL	Tempo em segundos																																
						5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
1	Caminha da bancada de medição até a máquina CNC	INTERNO	0:00:15	0:00:00	0:00:15	█	█	█																														
2	Seleciona função de troca de ferramenta no HMI principal da CNC	INTERNO	0:00:26	0:00:16	0:00:42				█	█	█	█	█	█																								
3	Caminha até o armário de ferramentas	INTERNO	0:00:18	0:00:43	0:01:01																																	
4	Retira ferramenta nova do armário e coloca no carrinho de ferramenta	INTERNO	0:00:10	0:01:02	0:01:12																																	
5	Transporta carrinho de ferramenta p/ a CNC	INTERNO	0:00:24	0:01:13	0:01:37																																	
6	Descarrega ferramenta fim de vida útil da máquina CNC	INTERNO	0:00:09	0:01:38	0:01:47																																	
7	Carrega ferramenta nova na máquina CNC	INTERNO	0:00:07	0:01:48	0:01:55																																	
8	Caminha até o HMI principal	INTERNO	0:00:10	0:01:56	0:02:06																																	
9	Aguarda carregar ferramenta no magazine / Início Ciclo automático	INTERNO	0:00:09	0:02:07	0:02:16																																	
10	Caminha até o carrinho de ferramenta	EXTERNO	0:00:07	0:02:17	0:02:24																																	
11	Transporta carrinho de ferramenta p/ o armário	EXTERNO	0:00:24	0:02:25	0:02:49																																	
12	Descarrega ferramenta antiga no armário para recolhimento	EXTERNO	0:00:03	0:02:50	0:02:53																																	
TEMPO EXTERNO			0.57																																			
TEMPO INTERNO (MÁQUINA PARADA)			2.13																																			

Legenda: █ Tempo Interno
█ Tempo Externo

Fonte: Próprio Autor

Conforme a tabela acima, o tempo de *setup* interno, o qual representa o tempo de máquina parada por falha de troca de ferramenta foi de 2.13 min.

4.1.3. Estágio 2: Convertendo *setup* interno em externo

No estágio 2, após reavaliar a classificação dos tempos de *setup* junto com o time, foi realizado a conversão das atividades internas em externas, resultando no estado futuro da seguinte forma abaixo (tabela 03):

Tabela 03. – Análise de *Setup* do estado futuro

SEQ.:	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	SETUP	DURAÇÃO (min)	INICIO	FINAL	Tempo em segundos																																			
						5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
1	Caminha da bancada de medição até a máquina CNC	EXTERNO	0:00:15	0:00:00	0:00:15																																				
2	Seleciona parada final de ciclo no painel HMI	EXTERNO	0:00:01	0:00:16	0:00:17																																				
3	Caminha até o armário de ferramentas	EXTERNO	0:00:18	0:00:18	0:00:36																																				
4	Retira ferramenta nova do armário e coloca no carrinho de ferramenta	EXTERNO	0:00:10	0:00:37	0:00:47																																				
5	Transporta carrinho de ferramenta p/ a CNC	EXTERNO	0:00:24	0:00:48	0:01:12																																				
6	Caminha até o HMI principal	EXTERNO	0:00:10	0:01:13	0:01:23																																				
7	Seleciona função de troca de ferramenta no HMI principal da CNC	INTERNO	0:00:26	0:01:24	0:01:50																																				
8	Caminha até a porta do trocador de ferramenta	INTERNO	0:00:10	0:01:51	0:02:01																																				
9	Descarrega ferramenta fim de vida útil da máquina CNC	INTERNO	0:00:09	0:02:02	0:02:11																																				
10	Carrega ferramenta nova na máquina CNC	INTERNO	0:00:07	0:02:12	0:02:19																																				
11	Caminha até o HMI principal	INTERNO	0:00:10	0:02:20	0:02:30																																				
12	Aguarda carregar ferramenta no magazine / Início Ciclo automático	INTERNO	0:00:09	0:02:31	0:02:40																																				
13	Caminha até o carrinho de ferramenta	EXTERNO	0:00:07	0:02:41	0:02:48																																				
14	Transporta carrinho de ferramenta p/ o armário	EXTERNO	0:00:23	0:02:49	0:03:12																																				
15	Descarrega ferramenta antiga no armário para recolhimento	EXTERNO	0:00:20	0:03:13	0:03:33																																				
TEMPO EXTERNO			2.13																																						
TEMPO INTERNO (MÁQUINA PARADA)			1.18																																						

Legenda: ■ Tempo Interno
■ Tempo Externo

Fonte: Próprio Autor

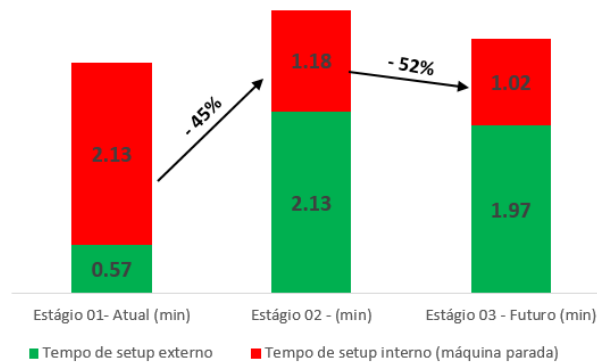
Somente neste estágio, houve um ganho significativo de 45% na redução do tempo de *setup* interno, atingindo o tempo de 1.18min.

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

Neste último estágio, foi realizado uma análise mais detalhada de cada atividade verificando as possibilidades de redução ou eliminação de atividades que não agregam valor. Portanto, as atividades de caminhar até o HMI principal (atividades 9 e 11 da tabela 03.) foram eliminadas, uma vez que, existe uma outra HMI ao lado do acesso á janela de troca de ferramenta da máquina CNC, o qual possui a mesma função do HMI principal, esta informação foi divulgado para todos operadores CNC e padronizado na Folha de Instrução do Operador (OIS). Com esta simples ação, resultou na redução de 7% do tempo de troca.

Após concluir o último estágio da metodologia SMED, houve um ganho total de 52% na redução do tempo de máquina parada, abaixo segue um gráfico de barras mostrando a evolução dos ganhos de cada estágio (gráfico 02):

Gráfico 02. – Evolução dos ganhos obtidos dos estágios do SMED



Fonte: Próprio Autor

4.2. Aplicação da técnica *Sister Tooling* nos ATC

Para a implementação da técnica de *Sister Tooling*, primeiramente foi verificado algumas condições:

- ✓ *Pockets* disponíveis no magazine de ferramentas das máquinas CNCs;
- ✓ Ferramentas reservas e perecíveis disponíveis de acordo com as ferramentas mais trocadas (o qual será utilizado como ferramentas-irmãs);
- ✓ Ferramentas de troca rápida que não requerem de ajustes;

Alguns recursos da máquina CNC foram necessários conhecer para otimizar o processo, exemplo: habilitar a condição de realizar carregamento/descarregamento de múltiplas ferramentas em apenas uma única operação no HMI. A programação do abastecimento das ferramentas-irmãs no magazine de ferramentas de cada máquina CNC é realizado a partir de um número de ciclo pré-estabelecido (tabela 04), calculado a partir da sua capacidade produtiva em um turno de produção.

Tabela 04. – Tabela utilizada no auxílio para abastecimento da quantidade de ferramentas de acordo com a quantidade de ciclos/ vida útil atual da ferramenta em 8 horas produtivas

OPERAÇÃO	QTD. MÍNIMA DE CICLO/ VIDAS
OP010	126
OP080	55
OP100	55
OP160	55

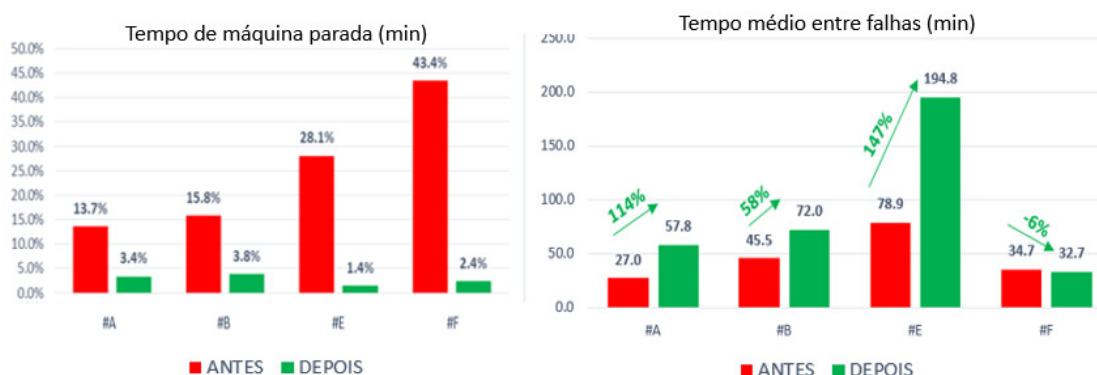
Fonte: Próprio Autor

Ao final do turno produtivo, as máquinas ficam disponíveis para que o operador do turno seguinte de cada operação realize uma verificação das ferramentas de corte nos centros de usinagem que estejam abaixo do valor pré-estabelecido (vida útil), definidos na tabela 04 acima. Caso o operador identifique qualquer ferramenta com a vida útil abaixo destes valores, é registrado o número da ferramenta em um *check-list* e o mesmo irá retirar as ferramentas desejadas já prontas para uso, no armário de ferramentas para que sejam abastecidas nas máquinas CNCs. Antes de realizar o abastecimento, é necessário descarregar as ferramentas com fim de vida útil (identificadas por um “x” no HMI – ferramenta bloqueada para uso no magazine do CNC) e sinalizadas por um *stack light* como uma forma de gerenciamento visual.

Estas ferramentas são selecionadas de uma só vez, para que sejam descarregadas e posteriormente realizar o carregamento das novas ferramentas na posição do magazine conforme padrão disponível nas operações de usinagem.

Após conhecer os recursos a serem utilizados e a definição do padrão para execução da atividade com base na medição anterior do estágio 2 do SMED, foi definido uma nova seqüência para o uso da técnica de *sister tooling* abaixo (tabela 05):

Gráfico 03. – Resultados obtidos nas operações CNCs após implementação do projeto



Fonte: Próprio Autor

Em geral, os resultados obtidos deste trabalho foram a redução do tempo de máquina parada em 22.5% e um aumento de 92% do tempo médio entre falhas, antes 42.8min. comparado com 89.3min. do atual. Estes valores foram retirados da média das operações CNCs dos gráficos acima (gráfico 03).

5. CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia SMED e a técnica de *sister tooling* em centros de usinagem foi possível demonstrar que, mesmo em processos com um nível elevado de automação, precisão e velocidade, ainda sim, é capaz de reduzir o tempo de máquina parada e eliminar atividades que não agregam valor, e conseqüentemente ter um aumento de produtividade dos equipamentos medidos por indicadores de disponibilidade e tempo médio entre falhas.

Entretanto, algumas dificuldades surgiram durante o desenvolvimento deste trabalho: a) o cumprimento dos padrões estabelecidos pelos operadores CNCs a qual foi realizado um trabalho de conscientização da importância deste projeto para a companhia e realizado a confirmação deste processo diariamente pelos seus líderes; b) falta de ferramentas reservas para utilização de ferramentas-irmãs; c) dificuldade em obter informações em literaturas, artigos e estudos de caso que envolva estas máquinas CNCs equipadas com

trocadores automáticos de ferramentas (ATC), além das técnicas de *presetting* e principalmente da técnica de *sister tooling*.

As técnicas utilizadas neste projeto podem ser aplicadas em qualquer segmento, porém, devem ser considerado os custos para sua implementação, devido ser necessário um alto investimento. O principal desafio deste projeto, foi otimizar a atividade de troca de ferramenta reduzindo o máximo do tempo de troca de ferramenta, de tal forma que, pudesse ser aplicado em sua capacidade total, considerando três turnos produtivos.

- ARONSON, R. B. Presetting: Prelude to Perfection. Manufacturing Engineering. Dearborn, v. 124, n. 2, p. 86-91, 2000.
- BACCI, M. D. N.; SUGAI, M.; NOVASKI, O; Proposta de modelo de tomada de decisão para aplicação da metodologia SMED. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 12, Bauru, SP, p. 1 – 12, nov. 2005.
- DARJI, P; SHIL, S; Design, Development and Testing of 4 Tool Automatic Tool Changer; IJESRT; India, 2017;
- FISCHMANN, A.; ZILBER, M. A. Utilização de indicadores de desempenho como instrumento de suporte à gestão estratégica. encontro da ANPAD, 23., Anais., 1999.
- FOGLIATTO, 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, 2003.
- GIL, A. C.; Como elaborar projetos de pesquisa; 4.ed.-São Paulo:Atlas,2002
- IGNOU. "Tooling for CNC machines" (PDF). ignou.ac.in. IGNOU; mar. 2015. Disponível em <<http://www.ignou.ac.in/upload/Unit-5-57.pdf>>. Acesso em 01/06/2018
- KANNENBERG, G; Proposta de Sistemática para Implantação de Troca Rápida de Ferramentas. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994
- NITC. "Tool Management in Advance Manufacturing Systems" (PDF). www.nitc.ac.in. Dept. of M.E; mar. 2015. Disponível em <http://www.nitc.ac.in/dept/me/jagadeesha/Tool_Engineering_and_Design/C_HAPTER12.pdf> Acesso em 01/06/2018.
- OBREJA, C. F *et al*; "Design of an Automatic Tool Changer System for Milling Machining Centers", DAAM Internacional, Austria, Vol. 23, 2012.