

**UNIVERSIDADE DE TAUBATE  
SÁVIO ANSELMO FERREIRA**

**MELHORIA NO PROCESSO DE FURAÇÃO  
REDUZINDO O TEMPO DE SETUP DA MÁQUINA:  
ESTUDO DE CASO EM UMA INDUSTRIA  
METALÚRGICA.**

**Taubaté**

**2021**

**SÁVIO ANSELMO FERREIRA**

**MELHORIA NO PROCESSO DE FURAÇÃO  
REDUZINDO O TEMPO DE SETUP DA MÁQUINA:  
ESTUDO DE CASO EM UMA INDUSTRIA  
METALÚRGICA.**

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Pós Graduação pelo curso da Engenharia da Qualidade Lean Six Sigma Green Belt, sob orientação do Professor Dr. Álvaro Azevedo Cardoso da Universidade de Taubaté.

**Taubaté – SP**

**2021**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi  
Universidade de Taubaté - Unitau**

F383m Ferreira, Savio Anselmo  
Melhoria no processo de furação reduzindo tempo de setup da máquina: estudo de caso em uma indústria metalúrgica / Savio Anselmo Ferreira. -- 2021.  
90 f. : il.

Monografia (especialização) – Universidade de Taubaté, Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, Taubaté, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD. Departamento de Engenharia Mecânica.

Coorientação: Prof. Me. Wilson Barros de Camargo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Metalúrgica. 2. Máquina. 3. Redução de tempo. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Pesquisa e Pós-graduação. Especialização em Engenharia da Qualidade Lean Seis Sigma Green Belt . II. Título.

## SÁVIO ANSELMO FERREIRA

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Pós Graduação pelo curso da Engenharia da Qualidade Lean Six Sigma Green Belt, sob orientação do Professor Dr. Álvaro Azevedo Cardoso da Universidade de Taubaté.

Data da Aprovação: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

### **BANCA EXAMINADORA:**

---

Dr. Álvaro Azevedo Cardoso  
Universidade de Taubaté

---

ME. Wilson Barros de Camargo  
Universidade de Taubaté

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia socorro presente na hora da angústia e a minha mãe Olga Raimundo Ferreira.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter permitido mais esta realização em minha vida. Ao meu orientador professor Dr. Álvaro Azevedo Cardoso que com sabedoria soube dirigir-me os passos e os pensamentos para o alcance de meus objetivos.

Aos gestores da empresa estudada, pelas orientações precisas em todos os momentos solicitados.

*“Procure ser um homem de valor,  
em vez de ser um homem de  
sucesso” .*

*(Albert Einstein).*

## RESUMO

O projeto em questão tem como cenário uma indústria metalúrgica que utiliza como estratégia de negócios a fabricação e montagem de estruturas metálicas em galpões comerciais, supermercados, aeroportos, etc. Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia foram: identificação da restrição do processo; análise de rendimento utilizado na furação manual como também o tempo gasto no processo; análise da melhoria com a implantação do sistema automatizado e redução do *setup* da máquina. Concluiu-se que com a implantação da máquina Kaltenbach (sistema automatizado de furação) houve um aumento em torno de 30% da produção de furação, redução de *setup* e melhoria no processo produtivo de furação de perfis soldados.

**Palavras-chave:** Metalúrgica; Processo; Máquina; Redução de tempo; Tempo de Preparação.

## **ABSTRACT**

The project in question is set in a metallurgical industry that uses as business strategy the manufacture and assembly of metal structures in commercial warehouses, supermarket, airports, etc. This work aims to reduce setup time (quick tool change) in machines and mechanical processes, through an automated system with three drilling heads (two horizontally and one vertically), enabling drilling, threading, countersinking and marking on processed parts. The results obtained with the application of the methodology were identification of the process restriction; performance analysis used in manual drilling as well as the time spent in the process; analysis of the improvement with the implementation of the automated system and reduction of the machine configuration. It was concluded that the implementation of Kaltenbach machine (automated drilling system) there was an increase of around 30% in drilling production, a reduction of configuration and improvement in the production process of drilling welded profiles.

**Keywords:** Metallurgical; Process; Machine; Time Reduction; Setup Time.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Processos de Fabricação.....	17
Figura 2 -Primeiro Subtipo de Organização .....	19
Figura 3 -Segundo Subtipo de Organização .....	20
Figura 4 -Terceiro Subtipo de Organização na Fábrica.....	20
Figura 5 -Quinto Subtipo de Organização .....	22
Figura 6 -Etapas iniciais do mapeamento .....	23
Figura 7 -Fluxograma do processo.....	24
Figura 8 -Modelo de administração da produção .....	25
Figura 9 -Setores Envolvidos no Gerenciamento de Ferramentas.....	27
Figura 10 -Setores da metalúrgica – exemplo planejamento estratégico.....	31
Figura 11 -Fluxograma do processo no centro de usinagem .....	32
Figura 12 -Evolução da Revolução Industrial.....	35
Figura 13 -Processo Pirometalúrgico .....	36
Figura 14 -Processo Hidrometalúrgico .....	38
Figura 15 -Movimentos do trabalhador.....	43
Figura 16 -Fluxo do processo produtivo M.R.Stamm .....	45
Figura 17 -Gráfico tempo médio de setup .....	46
Figura 18 -Centro de Usinagem CNC .....	49
Figura 19 -Torno CNC.....	50
Figura 20 -Câmara de Usinagem do Torno CNC .....	50
Figura 21 -Sistema de Alimentação da Máquina Multi-fuso .....	51
Figura 22 -Layout destas máquinas (exemplo) .....	51
Figura 23 -Gráfico “Saída de linha por Tempo”, definindo o conceito de Setup .....	54
Figura 24 -Setup: estágios do Processo Produtivo .....	59
Figura 25 -Fases do Setup.....	66
Figura 26 -Fluxograma aplicação das oito técnicas TRF .....	67
Figura 27 -Vista panorâmica da unidade fabril – Bady Bassitt .....	70
Figura 28 -Eletroimã.....	72
Figura 29 -Perfil HP 310 X 1,25 X 7.700. ....	73
Figura 30 -Pulsão .....	74
Figura 31 -Brocas com tamanhos variados.....	74
Figura 32 -Furadeira de bancada Chaparia. ....	75

Figura 33 -Kaltenbach–Sistema automatizado de furação.....	76
Figura 34 -Entrada da Linha.....	77
Figura 35 -Operador programando peça para o corte.....	78
Figura 36 -Processo de Corte e Tipagem. ....	79
Figura 37 -Programação de Brocas. ....	80
Figura 38 -Tipos de brocas.....	81

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1	Metalúrgica .....	16
2.1.1	Organização de uma metalúrgica .....	18
2.1.2	Mapeamento de Fluxo.....	23
2.1.3	Administração da Produção Metalúrgica.....	24
2.1.4	Gerenciamento de Ferramentas.....	26
2.2	Processos .....	35
2.2.1	Processo Produtivo .....	44
2.3	Máquina.....	47
2.3.1	Programação de máquinas.....	52
2.4	Redução de tempo .....	54
2.5	Tempo de Preparação ( <i>Setup</i> ): Conceito e Origem.....	59
2.5.1	Teoria das Restrições .....	60
2.5.2	Funcionamento da Teoria das Restrições .....	62
2.5.3	A Aplicação da Teoria das Restrições na redução do tempo de Setup pelo metodo SMED ( Single Minute Exchangeof Die).....	63
2.5.4	Troca rápida de ferramentas (TRF).....	65
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>69</b>
3.1	A empresa .....	69
3.2	A Caracterização da área estudada .....	71
3.3	Análise de Causa Raiz .....	73
<b>4</b>	<b>RESULTADO</b> .....	<b>76</b>
4.1	Quanto tempo leva para furar um perfil HP 310x125? .....	82
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>84</b>
<b>6</b>	<b>PALAVRAS CHAVES</b> .....	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>86</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias metalúrgicas no Brasil nos dias de hoje exigem um maior aprendizado por parte dos processos produtivos, e isso pode ser alcançado por iniciativas ligadas à criatividade e capacitação técnica nos diversos setores industriais. A expansão do mercado globalizado eleva a competitividade e exige inovação e difusão de novas técnicas em todo mundo, visando o aumento da produtividade para atender as necessidades do cliente, buscando maior flexibilidade e eficiência de produção. Isso é fundamental para qualquer organização que pretenda sobreviver em mercados com enorme concorrência gerada pela globalização. Neste cenário predomina-se a necessidade de redução do tempo de fabricação, tempo de entrega, e redução de preços dos produtos produzidos. Surge, portanto, a necessidade de aplicação de planos que possibilitem um crescimento da produtividade na siderurgia brasileira, e para tanto, o projeto em questão tem como cenário uma indústria metalúrgica que tem como estratégia de negócios a fabricação e montagem de estruturas metálicas. Para reduzir o tempo de entrega, as empresas precisam investir em máquinas de alta tecnologia e técnicas de redução de tempo em seus processos de fabricação e setup, pois atender as necessidades dos clientes é essencial para a manutenção da empresa no mercado competitivo.

Desta forma a melhoria do tempo de setup se mostra cada vez mais importante dentro das empresas uma vez que com tempo de setup menores a eficiência da máquina aumenta consideravelmente, já que a mesma ficará ociosa por menos tempo. Dentro das ferramentas *Lean*, a Teoria das Restrições juntamente com metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) ou Troca de Ferramentas (TRF), segundo Shigeo Shingo (2003), buscou-se reduzir e simplificar o tempo de *setup* da máquina, com foco na redução do tempo de séries e troca de ferramentas.

## 1.1 Justificativa

O cenário atual das indústrias metalúrgicas brasileiras exigem que se desenvolva um maior aprendizado, o uso de criatividade sem limites e a capacitação técnica em diversos setores. Obriga, ainda, a prática de planos opcionais para atingir um crescimento da produtividade na siderúrgica brasileira, a partir de pesquisas que determinem a redução de custos e melhoria da qualidade dos produtos, facilitando a competitividade no mercado.

Atualmente, todo setor de produção industrial sofre efeitos da globalização dos mercados consumidores, onde ocorre uma grande concorrência para a redução de tempo de fabricação, tempo de entrega e para a redução de preços dos produtos produzidos. Com esta acirrada competitividade, estudos são realizados para redução de custos internos de fabricação.

Além, de o mercado atual exigir preços baixos dos produtos produzidos, também está exigindo prazos cada vez menores para entrega, e as empresas buscam cada vez mais tornar estas exigências de seus clientes uma realidade no processo de fabricação para conseguirem um diferencial competitivo perante suas concorrentes.

Para conseguir um tempo menor de entrega em seus produtos fabricados, as empresas precisam investir em técnicas de redução de tempo em seus processos de fabricação e setup. Atender as necessidades dos clientes é essencial para a manutenção da empresa no mercado competitivo. Além de atender esta expectativa, o fornecedor que supera esta barreira esperada pelo cliente, tem uma vantagem muito grande perante seus concorrentes diretos.

## 1.2 Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo reduzir o tempo de *setup* (troca rápida de ferramentas) em máquina e processo mecânico, através de um sistema automatizado com 3 cabeçotes de perfuração ( dois na horizontal e um na vertical), possibilitando a furação, rosqueamento, escareamento e marcação nas peças processada. O objetivo é apresentar e analisar a experiência da

referida empresa na implantação de um sistema automatizado de furação ( máquina Kaltenbach) , assim como a redução do desperdício de tempo com a preparação e movimentação dos perfis,destinados a produzir estruturas metálicas com chapas e laminados de aço 1020 de diversos tamanhos e modelos ,e conseqüentemente, aumentar a produção, através de diversas melhorias de processos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

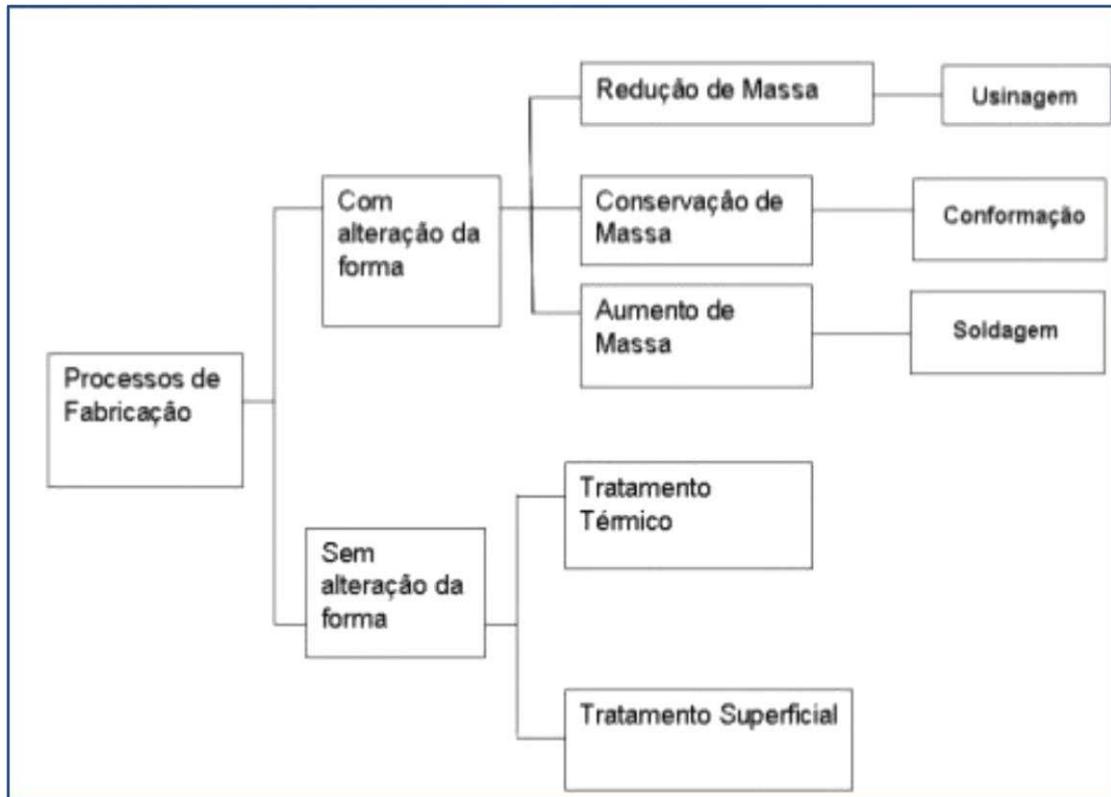
### 2.1 Metalúrgica

Para iniciar esta abordagem, interessante observar que:

O ferro, cuja fabricação se iniciou em torno de 1500 AC, substituiu o cobre e o bronze na confecção de diversos artefatos. O ferro era produzido em fornos por redução direta e conformado por martelamento na forma de blocos com um peso de poucos quilogramas. Quando peças maiores eram necessárias, estes blocos eram soldados por forjamento, isto é, o material era aquecido ao rubro, colocava-se areia entre as peças e martelava-se até a formação da solda. Como um exemplo da utilização deste processo, cita-se um pilar de cerca de sete metros de altura e mais de cinco toneladas existente ainda hoje na cidade de Delhi, na Índia [...] foi também usada, na antiguidade e na idade média, para a fabricação de armas e outros instrumentos cortantes. Isto ocorreu porque o ferro obtido por redução direta tem um teor de carbono muito baixo (inferior a 0.1%), não sendo, portanto, endurecível por têmpera. Por outro lado, o aço, com um teor maior de carbono, era um material escasso e de alto custo, tendo de ser fabricado a partir da cementação de tiras finas de ferro. Assim, ferramentas eram inicialmente fabricadas em ferro com tiras de aço soldadas nos locais de corte e endurecidas por têmpera. Espadas de elevada resistência mecânica e tenacidade foram fabricadas no oriente médio, na antiguidade, utilizando-se um processo semelhante, no qual tiras alternadas de aço e ferro eram soldadas entre si e deformadas por compressão e torção. O resultado era uma lâmina com uma fina alternância de regiões de alto e baixo teor de carbono (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012, p. 7).

Assim, a metalúrgica constitui-se basicamente de produzir por meio alterações na matéria-prima com o objetivo de obter-se um produto acabado. Quando envolvem mudança de forma, os processos de fabricação podem ser classificados em três categorias: fabricação com remoção de material, fabricação sem remoção de material e fabricação com adição de material, conforme ilustrado na figura 1. Na terceira categoria um exemplo é o processo de soldagem, enquanto, que a primeira e segunda categorias são compostas pelos processos de usinagem com geometria definida, não-definida, processos não-convencionais de usinagem e o processo de conformação (PIMENTEL, 2014).

Figura 1 -Processos de Fabricação



Fonte: PIMENTEL, 2014

A metalúrgica, segundo Tecchio, Anschau e Schneider (2018) desenvolveu-se com maior ênfase nos anos 700 a.C., onde a maioria das ferramentas eram fabricadas a partir do ferro ou bronze, tendo o processo de fabricação dividido em duas etapas: remoção de cavaco que incluem fundição, soldagem, laminação, extrusão, forjamento e estampagem; e remoção, que engloba torneamento, fresamento e furação. São processos de usinagem os quais são fundamentais para a fabricação de produtos que exigem precisão na dimensão ou para dar acabamento (ajuste das geometrias, dimensões e acabamento superficial) as peças semiacabadas. Onde:

Metalúrgica é o ramo da Engenharia dos Materiais que estuda os fenômenos físico-químicos associados com o beneficiamento e o processamento dos materiais metálicos, bem como os aspectos fundamentais envolvidos nos diferentes ciclos de processamento destes materiais. A metalúrgica pode ser dividida em três grandes áreas: metalúrgica extrativa, metalúrgica física e metalúrgica de transformação. Metalúrgica extrativa: Trata da extração e refino de metais e ligas metálicas. Metalúrgica física: Estuda os fundamentos dos fenômenos metalúrgicos. Relaciona a estrutura interna dos metais com suas propriedades. Metalúrgica de transformação: Dá forma aos metais por meios de processos de conformação mecânica ou metalúrgicos, tais como:

laminação, forjamento, extrusão, estampagem, torneamento, fresamento, soldagem e fundição, dentre outros (LOPES, 2020, p. 1-2).

Cardoso (2015) afirma que o ramo metalúrgico se encontra atrelado ao setor da indústria de transformação, que é definido “pelas atividades que envolvem a transformação física, química e biológica de materiais, substâncias e componentes, com a finalidade de obter produtos novos” (p. 20). Tudo que sofre transformação nesse setor são insumos produzidos em vários setores produtivos.

Possui uma divisão muito heterogênea, sendo encontrado ao longo das diversas cadeias produtivas dos demais setores da economia. Está relacionado exclusivamente à produção e transformação dos metais, abarca desde a fundição dos minérios metálicos (ferro, zinco, cobre, alumínio etc.) até a construção de grandes plataformas petrolíferas, produção automobilística, itens domésticos – como ferramentas, talheres, geladeiras – e máquinas para uma infinidade de outros setores, passando por processos como usinagem, estamparia, forjaria, montagem, controle de qualidade, entre outros, a depender do segmento que é tratado (CARDOSO, 2015, p. 20).

### **2.1.1 Organização de uma metalúrgica**

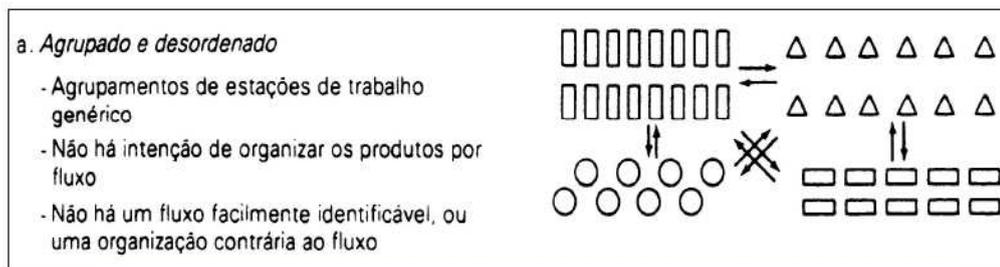
Segundo Pereira (2007) a organização de uma metalúrgica ainda que outras áreas de melhoramento da usinagem possam conduzir a maiores economias, reduções de custos de pessoal de ao menos 30 a 50% podem ser atingidas. Para tal, é preciso reorganizar não apenas o fluxo de usinagem, mas também o desenho de cada operação mecânica. Projetos de aumento de produtividade envolvem o estudo de tempos e movimentos nas operações existentes e o projeto de novas operações para reduzir o desperdício. Isto muitas vezes implica decompor tarefas individuais grandes e complexas em várias menores e executadas por um grupo maior de pessoas.

Dentre os formatos de organização é possível dizer que existem vários subtipos de organização, sendo a definição realizada pelo subtipo mais adequado a cada situação. Seis subtipos são descritos a seguir:

a) Agrupado e Desordenado – A organização da fábrica agrupada e desordenada é o pior tipo e, infelizmente, o mais comum, conforme figura 2. Nos escritórios, assim como nas fábricas, isto ocorre em duas situações. Em primeiro lugar, talvez não haja fluxos padrões facilmente identificáveis para o produto em questão. Nos locais de produção, por exemplo, diferentes trabalhos

requerem diferentes máquinas e, por conseguinte, o serviço segue vários roteiros ou percursos pela fábrica. Em segundo lugar, onde os produtos são mais padronizados, como os produtos de consumo e materiais industriais, a organização da fábrica pode começar corretamente, mas, então, à medida que a fábrica cresce, acaba degenerando para a organização em agrupamento desordenado.

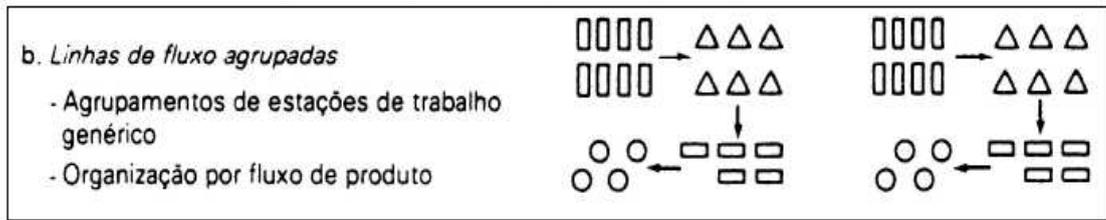
Figura 2 -Primeiro Subtipo de Organização



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 23

b) *Linhas de Fluxo Agrupadas* - Neste segundo tipo, os grupos não estão desordenados, mas sim organizados, de uma certa maneira, em fluxos de produto. A figura 3 mostra duas linhas de fluxo: uma linha produz silenciadores e a outra produz escapamentos. Metade dos agrupamentos encaixa-se numa linha de fluxo e a outra metade na outra. Alternativamente, as duas linhas poderiam fabricar exatamente o mesmo produto e competir pelos resultados, assim como se auxiliarem. O tipo b de organização não é classe universal, mas certamente é melhor que o tipo a. O uso menos negativo para o tipo b é quando ele produz especialidades: ordens de fabricação especiais, opções de baixo uso ou peças para assistência técnica, trabalho com protótipos ou coisas do gênero. Esses produtos podem ser as sobras que ficam nos agrupamentos após os poucos produtos importantes serem retirados. Os itens pouco importantes vão para as fábricas organizadas da maneira c, d ou e conforme demonstrado na sequência. Este subtipo é o destino de vários tipos de equipamentos automáticos, notadamente as máquinas unitárias. A máquina unitária é aquela que efetua vários tipos de operação e produz um produto complexo e inteiro. Como exemplo tem-se a máquina de controle numérico. Essa máquina absorve e elimina vários movimentos, atrasos, filas, quantidades em trânsito e ajustes.

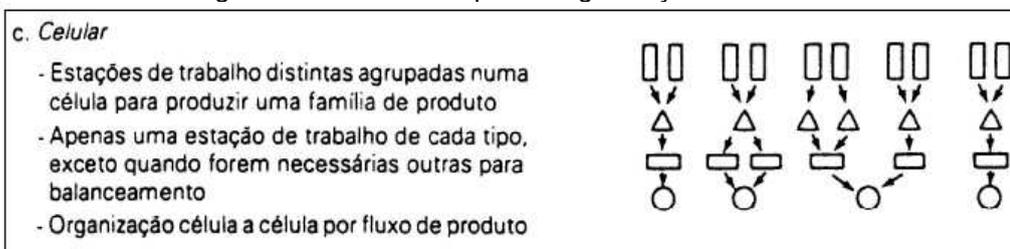
Figura 3 -Segundo Subtipo de Organização



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 24

c) Celular – Observa-se várias maneiras que fazem uma organização em agrupamento operar bem, dadas suas limitações inerentes. A melhor solução de todas é encontrar uma maneira para acabar com os agrupamentos. Na produção, quando se quebram os grupos de processos, as partículas vão para as células ou linhas de fluxo dedicadas. Chama-se célula aquilo que fabrica uma família de produtos; chama-se linha o que fabrica apenas um produto. A figura 4 lista algumas características da organização celular (tipo c). Estações de montagem ou de máquinas diferentes são agrupadas em uma célula, e existe apenas uma estação de trabalho para cada tipo (por exemplo, apenas uma furadeira), exceto quando mais de uma estação for necessária, por questões de balanceamento. No agrupamento celular, o número de operadores costuma ser 50 a 70% inferior ao número de máquinas. Além do mais, as máquinas se localizam próximas entre si, permitindo ao operador dar conta de várias a uma só vez com o mínimo de desperdício de tempo e movimentos. O conceito de célula de máquinas se aplica tanto às fábricas pequenas, de menores volumes, como às grandes, de maiores volumes.

Figura 4 -Terceiro Subtipo de Organização na Fábrica



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 25

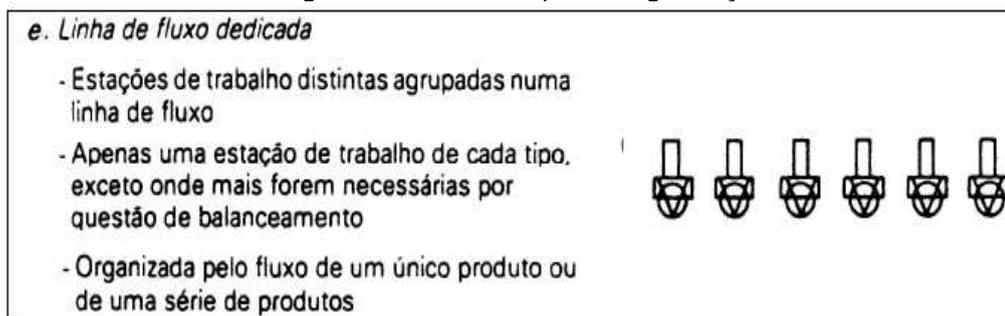
d) Estação ou Máquina Unitária – O quarto subtipo de organização de fluxo é o da estação de trabalho ou máquina unitária. Como na célula, a máquina ou estação unitária executa várias operações em série para a fabricação de um módulo completo do produto. Ao contrário das células, as operações são feitas em uma, ao invés de várias máquinas ou estações. Na verdade, este é um caso especial de organização celular. Esse tipo inclui as máquinas de controle numérico que podem fabricar um componente completo. Também inclui as transferências de linhas e as estações de montagem autônomas que podem montar um módulo inteiro do produto, como um motor.

e) Linhas de Fluxo dedicadas – O quinto subtipo de linhas de fluxo é o da linha de fluxo dedicada. Como mostra a figura 5, ela é dedicada para um produto ou uma gama pequena de produtos. Como o tipo celular, a linha de fluxo completa é composta de estações de trabalho diferentes, dispostas de acordo com o fluxo do produto. Existe apenas uma estação de trabalho de cada tipo na linha de fluxo, exceto quando mais de uma é necessária por questão de balanceamento. Por exemplo, se os testes demoram o dobro de tempo do que as outras operações, a estação de trabalho de testes deve possuir duas bancadas ao invés de uma. As linhas dedicadas são convenientes nas seguintes condições:

1. O produto é fabricado em grande volume ou com um contrato de longo prazo. Um fabricante de aviões pode ter um contrato de três anos com a Força Aérea para entregar um avião por mês. Esse tipo de estabilidade durante um período tão grande pode justificar os esforços para preparar uma linha de fluxo dedicada.

2. Existe mais de uma linha que produza esse produto, ou que seja capaz de produzi-lo. A necessidade de possuir flexibilidade de se ajustar quando algo de errado acontece em uma linha é a razão, e é preciso mencioná-la várias vezes. Uma outra razão deve-se aos benefícios de se ter uma linha competindo com outras – para saber de qual se pode obter o melhor índice de melhorias.

Figura 5 -Quinto Subtipo de Organização



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 26

f) Combinada – as metalúrgicas que estão no rumo de uma fabricação classe universal podem ter um período de transição longo para mudar a organização pobre de suas fábricas (agrupamentos) para a ideal (linhas de fluxo). Uma combinação de fluxo e agrupamento do tipo combinado é comum durante esse período. Para fazer as mudanças de linhas agrupadas para linhas de fluxo, é preciso tomar as seguintes providências:

Primeira mudança - produtos dominantes. Deve-se selecionar alguns produtos dominantes, tirá-los do agrupamento e colocá-los em uma linha de fluxo; prosseguindo com a reorganização. Na fase 2, é necessário repetir o procedimento da primeira retirando os produtos mais dominantes dos agrupamentos junto com algum equipamento. Outras linhas de fluxo são criadas juntamente com suas equipes. Duas linhas são melhores que uma, pois permitem que o programa de fabricação das peças seja cumprido no caso de algo acontecer com alguma máquina, permitem também a promoção de uma competição entre elas e a introdução de equipamentos mais flexíveis. Na sequência, é apresentado um dos principais motivos de estudo do presente trabalho, que é a preparação de máquinas, visto que esta sim é inteiramente voltada à troca de ferramentas na máquina.

### 2.1.2 Mapeamento de Fluxo

O mapeamento de fluxo em uma metalúrgica auxilia na redução dos desperdícios de produção, além de aumentar a capacidade produtiva sem a necessidade de se investir em novas máquinas, equipamentos e mão de obra. Esse mapeamento permite a criação de uma implementação *lean* sólida, o que acarreta melhor utilização de seus recursos disponíveis (SANTOS et al., 2017). Estes autores relatam que o fluxo é o conjunto das ações necessárias, que agregam valor ou não, para levar um produto por todos os fluxos essenciais à sua transformação: o fluxo de produção desde a matéria-prima até o consumidor final e o fluxo do projeto que vai da concepção do produto até o lançamento.

Os passos iniciais do mapeamento de forma geral seguem esta linha: primeiramente selecionar uma família de produtos, em seguida desenhar o estado atual, desenhar o estado futuro, e por fim, preparar e começar ativamente um plano de implementação que descreva, como planeja chegar ao estado futuro, como na figura 6 abaixo (SANTOS et al., 2017).

Figura 6 -Etapas iniciais do mapeamento



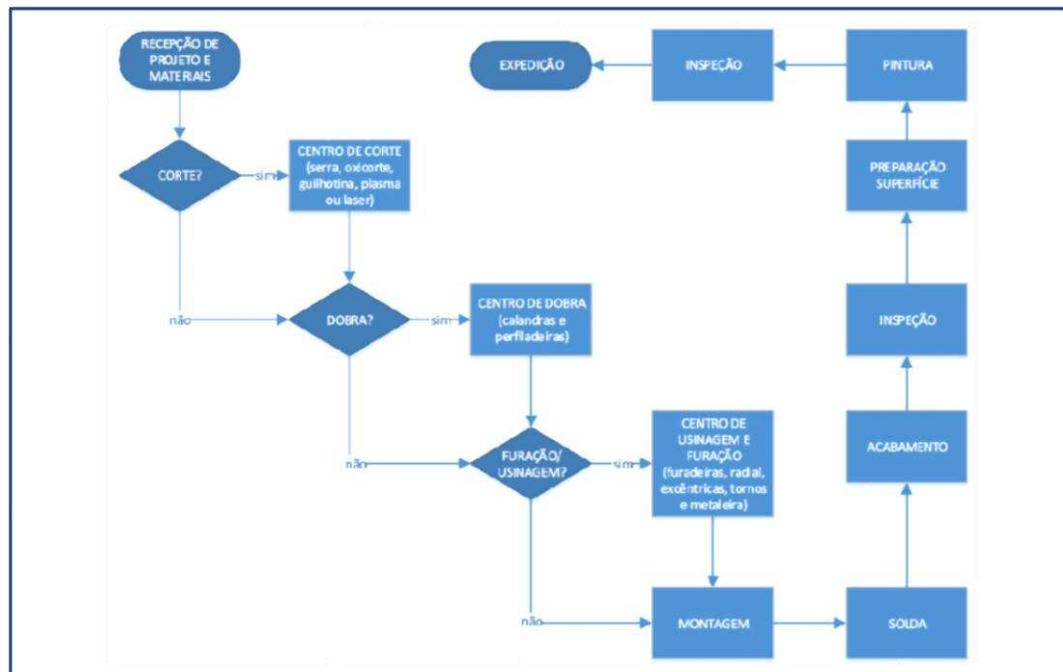
Fonte: SANTOS et al., 2017, p. 53

Assim, através do mapeamento é possível entender a situação atual de “porta a porta” da fábrica, identificando os pontos ao longo do fluxo que podem ser melhorados e então focar o fluxo, sugerindo o estado futuro (ideal). O mapeamento permite uma visão geral do fluxo e foca em melhorias no todo e

não somente em melhorias pontuais (SANTOS et al., 2017).

Segundo Santos et al., (2017) o mapeamento aplicado ao setor de transformação tem o objetivo de mapear a cadeia de valor dos produtos com maior volume de produção e lucratividade com a finalidade de racionalizar o fluxo dos processos, e assim buscar a redução do *lead time*. Definido o setor de aplicação deste mapeamento de fluxo da próxima etapa consiste na definição da família para coleta de dados referentes aos seus respectivos processos. É necessário desenvolver uma matriz de produtos por etapas dos processos dos produtos, com o intuito de esclarecer todas as etapas que cada produto passa, para tanto é necessário realizar uma análise no histórico de vendas da empresa em relação à quantidade e ao faturamento, para definir tal fluxo, conforme figura 7.

Figura 7 -Fluxograma do processo



Fonte: SANTOS et al., 2017

### 2.1.3 Administração da Produção Metalúrgica

Segundo Fadanelli (2018), a administração da produção em uma metalúrgica tem relação com o projeto, direção e controle dos processos que transformam

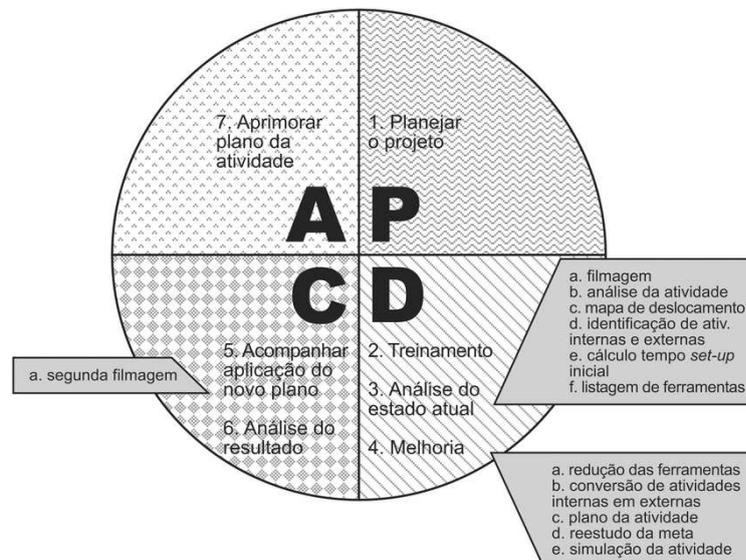
insumos em serviços e produtos, atuando tanto nos clientes internos quanto nos clientes externos. Assim, a administração da produção está presente em todos os departamentos de uma metalúrgica, visto que todos executam processos.

De acordo com Fadanelli (2018), o objetivo da estratégia garante que os processos de produção sejam alinhados com a intenção estratégica da empresa, assim como como os resultados financeiros. Para atingir esses objetivos, é necessário incluir no processo de tomada de decisão elementos como o cliente, a concorrência, os fornecedores e os acionistas.

Considerando que todas as atividades desenvolvidas por uma metalúrgica focam na tentativa de transformar insumos em produtos acabados e/ou serviços, sempre consumindo recursos, mas nem sempre agregando valor ao produto, a gestão eficaz dessas atividades, constitui o objetivo da administração (FADANELLI, 2018).

Para Fadanelli (2018), os processos de uma empresa devem ser gerenciados de maneira diferente, pois diferem entre si em volume, variedade, variação e visibilidade. Um gerenciamento bem-feito contribui para o impacto estratégico do negócio. Apesar destas diferenças, os gerentes de operações usam um conjunto de decisões e atividades comuns para gerenciá-las, conforme mostrado na figura 8 abaixo.

Figura 8 -Modelo de administração da produção



Fonte: FADANELLI, 2018

#### 2.1.4 Gerenciamento de Ferramentas

A indústria, para permanecer competitiva, produz uma grande quantidade de produtos diferentes para atender a demanda do mercado. Isto necessita cada vez mais de recursos, e um destes recursos são as ferramentas, que têm um peso significativo também no aspecto financeiro. As ferramentas de corte representam só uma pequena parte do custo total de produção, aproximadamente 3%. É, portanto, compreensível que os clientes tenham uma certa tendência a desconsiderar esse ponto na busca por redução de custo. Atualmente, nada poderia ser mais equivocado! As ferramentas de corte aplicadas de maneira correta reduzem de modo mais significativo o custo de produção (PEREIRA, 2007).

O mesmo autor diz que as ferramentas são um dos recursos mais críticos para os sistemas de processamento de dados empregados no gerenciamento de ferramentas, conforme ilustrada na estatística abaixo:

- 16% do tempo do plano de produção é perdido porque as ferramentas não estão disponíveis;
- 40-60% de tempo de um operador é gasto solicitando ferramentas e materiais relacionados;
- 7-10 vezes mais dinheiro é gasto em ferramentas, gabaritos, etc. que em equipamentos principais;
- e até 30% de inventários de ferramenta consistem em usinagem perdida – ferramentas que tinham sido distribuídas.

O Gerenciamento de Ferramentas é importante, pois reduz o tempo de máquina parada, custos relativos a inventário e aumenta a confiança da produção na área de ferramentas, pois com a utilização do gerenciamento de ferramentas, ocorre a identificação das ferramentas duplicadas e o estabelecimento de quantidades adequadas do nível para cada ferramenta estocada, podendo contribuir para a redução de 25% do excesso de inventário de ferramentas de corte. Os sistemas produtivos, as máquinas e os equipamentos cujos níveis de automação estão aumentando a cada dia necessitam cada vez mais de uma grande infraestrutura ao seu redor para se manterem em constante funcionamento, por conseguinte, o gerenciamento de

ferramentas merece atenção constante principalmente para evitar desperdícios (PEREIRA, 2007).

Na maioria das empresas de usinagem, existe um significativo potencial de ganho devido à forma inadequada de gerenciar as ferramentas, pois há fatores que atrapalham o fluxo contínuo e econômico da produção, como:

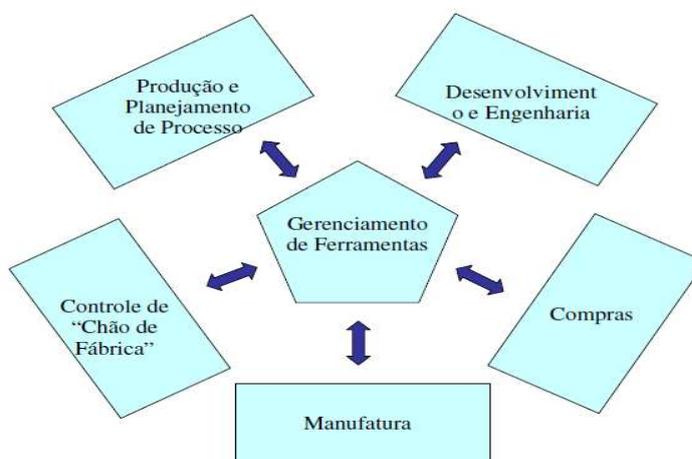
- Achar as ferramentas de corte e dispositivos adequados;
- Estoque excessivo ou falta de ferramentas;
- Mix de operação na fábrica maior que o necessário;
- Diminuição da capacidade de produção devido ao demorado tempo na troca de ferramentas;
- Dificil programação de estoque das ferramentas por não saber a sua vida útil;
- Sequência de usinagem não adequada para o tipo da peça;
- Ferramentas não adequadas para o tipo de operação.

Para um gerenciamento de ferramentas adequado, é preciso levar em conta os seguintes aspectos no planejamento:

- Técnico;
- Logístico;
- Estratégico.

As principais áreas envolvidas no gerenciamento de ferramentas estão apresentadas na Figura 9.

Figura 9 -Setores Envolvidos no Gerenciamento de Ferramentas



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 28

Na sequência, estão descritos os principais planejamentos necessários para o desenvolvimento adequado do gerenciamento de ferramentas.

Conforme Pereira (2007), a primeira área do planejamento técnico tem como meta selecionar as ferramentas de corte que possibilitam um processo mais econômico e que atendam às necessidades requeridas para a qualidade do produto. Portanto, um planejamento técnico eficiente ocasiona uma menor parada de máquina, além da diminuição no número de ferramentas a serem utilizadas na usinagem e de um processo mais confiável, sem quebra prematura de ferramentas ou baixa qualidade de acabamento da superfície, atendendo os prazos e reduzindo os custos de produção.

No planejamento técnico se define a ferramenta adequada para cada operação de usinagem, sendo que a seleção das operações depende de fatores como máquina-ferramenta, tipo de ferramenta, material da peça e da ferramenta e tolerâncias, objetivando produzir a peça desejada da melhor maneira. Ainda segundo Pereira (2007), a seleção das ferramentas pode ser feita de acordo com diversos objetivos quais sejam:

- Minimização do número de ferramentas;
- Maximização da produtividade;
- Minimização dos custos.

Pereira (2007) também afirma que uma correta seleção de ferramentas pode ser feita orientada à máquina-ferramenta ou orientada à peça como se pode ver a seguir. Seleção de Ferramentas Orientada à Máquina-ferramenta - Neste caso, as ferramentas são montadas e selecionadas em conjuntos fixos padrão, pré-determinados para cada máquina-ferramenta onde estas podem ser colocadas diretamente no magazine da máquina, limitando-se ao tamanho deste, ou então este magazine pode ser constituído pelas ferramentas preferidas nas operações normalmente desempenhadas naquela máquina. Isto ocasiona uma redução dos custos com ferramentas devido à sua padronização, e redução dos tempos de preparação. É pré-requisito para esta estratégia a informação atualizada a respeito do estoque, alocação e disponibilidade dos conjuntos de ferramentas.

**Seleção de Ferramentas Orientada à Ferramenta de Corte** - Todas as ferramentas disponíveis no chão de fábrica são candidatas à seleção apenas com restrições técnicas e logísticas. Neste caso, as ferramentas escolhidas para a fabricação de uma determinada peça podem ser utilizadas para determinar qual máquina se adapta melhor à produção, este tipo de seleção pode aumentar os custos com ferramental, pois, para cada componente, deve haver no estoque peças de reposição. Por outro lado, o responsável pelo processo pode escolher ferramentas mais dedicadas.

**Monitoramento das condições da ferramenta** – O monitoramento da ferramenta tem como funções prevenir que a ferramenta de corte quebre durante a operação de usinagem ou que a quebra ou desgaste excessivo desta influencie na operação, além disso, acumula dados da performance da ferramenta para processamento posterior da engenharia através da identificação das ferramentas.

**Dispositivos de fixação e adaptadores** – São necessários para conectar a ferramenta de corte com o eixo da máquina ferramenta, os encaixes podem ser classificados de acordo com seus métodos de fixação, como mandril, pinças e outros. Os dispositivos de fixação e adaptadores têm algumas informações em comum:

- Identificação;
- Comprimento e diâmetro máximos;
- Fabricante;
- Código do fabricante;
- Custo;
- Número de estoque.

**Seleção da Sequência de Usinagem** – O objetivo da seleção correta de uma sequência de usinagem é minimizar os tempos principais e secundários. Para isso, é necessário principalmente minimizar o número de troca de ferramentas e movimentação de peças. Este procedimento está sujeito a restrições relativas à sequência de usinagem das superfícies a serem usinadas, além de suas operações.

Já com relação ao planejamento estratégico, Pereira (2007) afirma que as decisões estratégicas negociam a possibilidade de expandir ou reduzir a capacidade dos recursos, ou seja, são responsáveis por definir a ferramenta correta para cada máquina. O planejamento estratégico é dividido da seguinte maneira:

- Planejamento Estratégico: assegura que a ferramenta desejada esteja disponível na quantidade correta e no tempo certo;
- Controle Estratégico: coordena a transferência da ferramenta entre a máquina e o preset;
- Monitoramento Estratégico: identifica e reage se ocorrem imprevistos, além de monitorar a situação da ferramenta.

Para um bom desempenho estratégico, a empresa deve possuir os seguintes setores com suas respectivas características:

**Desenvolvimento e Engenharia** – Devem possibilitar um planejamento do processo seguro e preciso, a partir do desenvolvimento do produto.

**Compras** – Obter as informações como o cliente, código de ferramenta, quantidade, deixando assim o sistema mais ágil. O ideal é que, quando uma ferramenta atinge o estoque mínimo, uma ordem de compra seja gerada automaticamente.

**Produção e Planejamento do Processo** - As ferramentas usadas no chão de fábrica são selecionadas pela área que planeja o processo, portanto, as demandas devem ser analisadas considerando os recursos ferramenta e máquina, além de avaliarem a ferramenta em relação à sua capacidade.

**Controle no Chão de Fábrica** – Primeiramente, deve ser determinado o plano de trabalho, o tempo de execução e o tempo de início dos trabalhos. Quando as ferramentas forem removidas, sempre se deve atualizar as informações concernentes à localização da ferramenta e seu armazenamento. No chão de fábrica, indica-se a disponibilidade dos recursos, situação das ferramentas em relação ao seu preset, além de armazenar os dados de desempenho das ferramentas.

**Controle do Inventário das Ferramentas** - Através do controle de inventário previnem-se as compras desnecessárias de ferramentas e componentes, analisando-se o estado da ferramenta no processo e localizando-se os

componentes e as ferramentas para posteriores utilizações, levando-se em conta a vida da ferramenta e a quantidade existente.

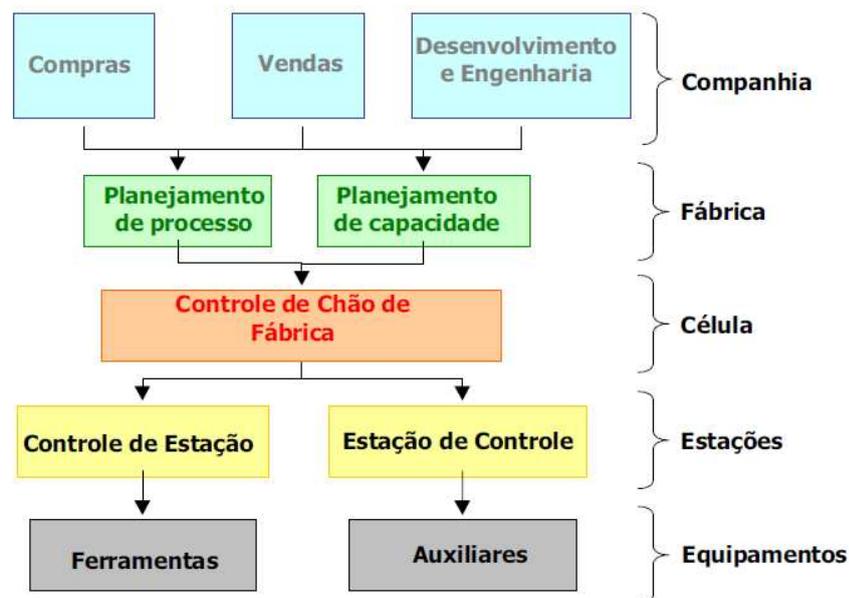
**Tarefas no Chão de Fábrica** - O operador é indispensável para a instalação e monitoração das ferramentas. Os grupos de ferramenta são prefixados no local da ferramenta de acordo com as informações técnicas recebidas do departamento de processo.

**Administração de Dados de Ferramenta** - A administração de informações é a base para a administração das ferramentas. A principal finalidade de criar um banco de dados de ferramenta é estruturar dados, fornecendo assim a flexibilidade para definir seus parâmetros.

**Racionalização da Vida da Ferramenta** - Esta visa à redução dos custos mediante o uso otimizado da ferramenta baseado na inspeção visual do seu corte, monitoramento do som produzido durante o processo, do consumo de energia da máquina e força de corte inspecionando, assim, no final da produção da peça, as tolerâncias do produto através da superfície de acabamento.

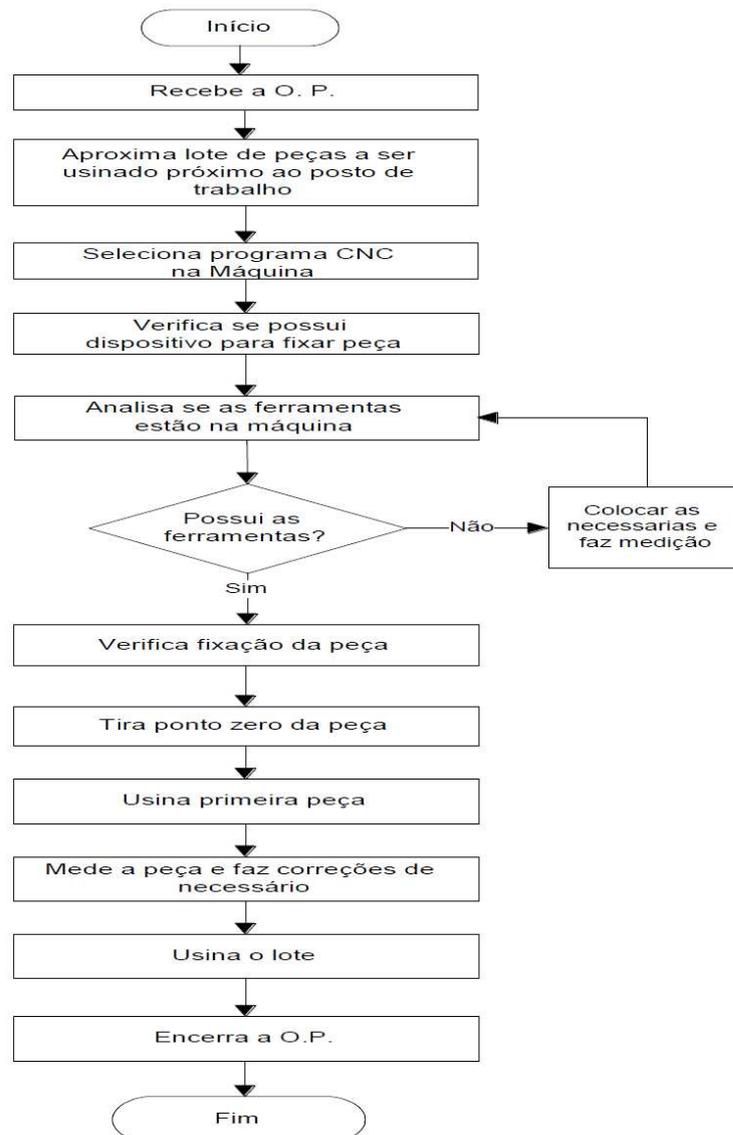
A seguir, tem-se um modelo de gerenciamento de ferramentas, representado pela figura 10, em que os setores da metalúrgica estão colocados de forma a exemplificar um planejamento estratégico adequado para a produção de um determinado novo produto fabricado pela empresa (PEREIRA, 2007).

Figura 10 -Setores da metalúrgica – exemplo planejamento estratégico



Para entender o que ocorre na produção do centro de usinagem, inicia-se pela análise do processo com o operador fazendo a manutenção preventiva diária, tarefa que é desempenhada com a função de prevenir paradas desnecessárias durante o turno de trabalho. O sistema de produção da máquina é planejado pelo responsável da produção, que programa a metalúrgica conforme a necessidade onde se disponibiliza as ordens de produção na máquina conforme demanda (HERNANDES, 2015). Com objetivo de verificar as atividades realizadas na máquina é rotina do operador, com isso é possível criar um fluxograma do processo produtivo conforme figura 11, que mostra o exemplo de atividades desenvolvidas numa usinagem.

Figura 11 -Fluxograma do processo no centro de usinagem



Na sequência segue descrição do fluxograma do processo produtivo do centro de usinagem (HERNANDES, 2015):

- a) Recebimento da ordem de produção do responsável pela produção, na qual constam as atividades a serem desenvolvidas pelo operador, quantidade, código do cliente e da peça, medidas e registros de controle de inspeções. Sua utilização visa garantir a qualidade do item, para que esteja conforme as especificações do desenho, que está no verso da ordem, sendo a forma de o operador visualizar o item que será usinado;
- b) Aproximação do lote a ser usinado até o seu posto de trabalho, esta atividade aproxima as peças ao lado da máquina, para que ao usiná-las não seja necessário se deslocar para buscar uma peça por vez, e sim todas estarem ao alcance;
- c) Seleção do programa CNC, que normalmente está na memória da máquina. O operador busca através da ordem produção o código do item e nome do cliente, que para usinar a peça é necessário carregar o programa, e colocar em modo automático;
- d) Verificação se possui dispositivo, para o item a ser usinado, utilizando dispositivo para fixar a peça. Verificar com o programador ou responsável pela produção como é a fixação desta peça no dispositivo, caso tenha dúvida;
- e) Análise das ferramentas necessárias e fazer preset, com base no programa CNC que especifica as ferramentas necessárias para execução da atividade. Cabe ao operador conferir no magazine as ferramentas que já estão na máquina e as que por algum motivo não estiverem. Após isso, colocar as mesmas na máquina, e fazer a medição para que todas estejam corretas;
- f) Verificação da posição da peça, para dar início à usinagem quando o operador analisa a posição em que a peça vai ser posicionada na mesa da máquina, ou como o dispositivo será fixado. Fazer o alinhamento do dispositivo ou peça com relógio comparador, garantindo o alinhamento conforme os eixos de deslocamento da máquina;
- g) Tiragem do ponto zero da peça, que consiste em referenciar um ponto de partida da peça para a máquina, ou seja, tirar medidas de ponto zero no eixo x, y, z, que são os eixos relativos aos deslocamentos da

máquina. Para este zeramento o operador encosta uma ferramenta com diâmetro conhecido nas fases da peça e faz o processo de medição;

- h) Usinagem da primeira peça, onde o operador faz todas as operações com avanço reduzido conferindo se todos os ajustes estão corretos, evitando assim possíveis erros e colisões. Nesta máquina se faz em diversos itens e cada um tem suas particularidades conforme especificações dos desenhos;
- i) Verificação da primeira peça produzida, onde o operador inspeciona todas as cotas indicadas no desenho, anota as medidas críticas solicitadas na ordem de produção e caso necessário executa as devidas correções diretamente na máquina ou com ajuda do programador;
- j) Usinagem de todo o lote, após aprovação da primeira peça. Na ordem de produção são anotadas as medidas das primeiras duas peças e a última, mas o operador inspeciona as peças conforme a tabela de frequência de inspeção ou no mínimo uma a cada dez peças fabricadas;
- k) Encerramento da ordem de produção ocorre no final da usinagem de todo o lote, onde realizam as anotações finais, encaminhando o mesmo para outra operação, ou acabamento e armazenagem. Quando necessário comunica-se o responsável da produção encerrando as atividades do referido lote na ordem de produção.

## 2.2 Processos

Processo de produção é o conjunto de ações, atividades ou tarefas conduzidas de maneira sistemática, interligadas que se combinam de maneira ordenada para transformar matérias-primas em produtos finais [...] produção artesanal surge no fim da Idade Média com fixação das populações em determinadas regiões do globo. Era uma produção independente, onde o produtor possuía os meios de produção: instalações, ferramentas e matéria-prima e na sua própria casa realizava a produção (PAIVA et al., 2013, p. 3).

A partir de 1760, com a revolução industrial, foi necessário implantar novas tecnologias de forma a encontrar estratégias para produzir com mais qualidade, utilizando menos matéria-prima e com maior rapidez. Por isso, segundo Paiva et al., (2013) os processos industriais passaram por intensa transformação se adequando gradualmente às exigências do mercado, conforme ilustrado na figura 12.

Figura 12 -Evolução da Revolução Industrial

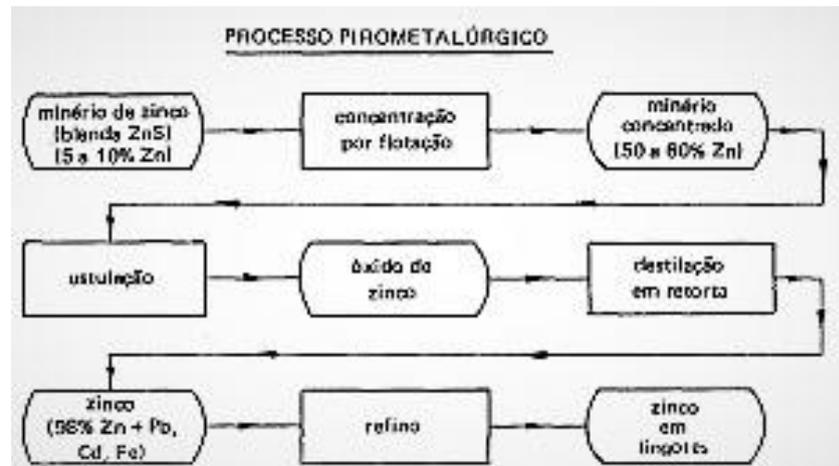


Fonte: Paiva et al., 2013

Segundo Falcão Jr. (2019) o objetivo dos processos metalúrgicos é extrair metais de minérios ou de outros materiais, sendo classificados em 2 grandes grupos, que são:

1. Processos pirometalúrgicos - são conduzidos em altas temperaturas, frequentemente, envolvem fusão de materiais, conforme ilustrado na figura 13.

Figura 13 -Processo Pirometalúrgico



Fonte: Falcão Jr., 2019

São divididos em 2 grandes grupos, de acordo com as temperaturas envolvidas e a natureza dos reagentes:

1.1 Ustulação: processo metalúrgico conduzido a altas temperaturas, mas não ocorrendo fusão parcial das fases reagentes. As variedades dos processos de ustulação são:

- Calcinação → o objetivo é alterar a composição química dos minerais contidos no minério, sendo a reação de dissociação a principal;
- Ustulação oxidante de minérios e concentrados de sulfeto → o objetivo é converter os sulfetos metálicos em óxidos ou sulfatos;
- Sinterização → é a ustulação na qual um material fino é transformado em grãos. Ocorre através de recristalização do material, sem formação de fase líquida, ou através da formação de certa quantidade de fase líquida, que, na solidificação, forma aglomerados até chegar aos grãos;
- Ustulação redutora → é subdividido nas variedades magnética e redutora;
- Cloração → o objetivo é converter óxidos e sulfetos metálicos em cloretos. Exemplo: cloração de óxido de zircônio;
- Fluoração → o objetivo é converter óxidos metálicos em fluoretos. Exemplo: fluoração do óxido de urânio;

1.2 Fusão Metalúrgica: processo complexo devido ao fato de materiais sólidos interagirem e reagirem com fases gasosas, produzindo um número de fases líquidas e fases gasosas alteradas. Os líquidos resultantes têm baixa solubilidade e devem ser separados. A fusão metalúrgica pode ser dividida em:

- Fusão de minérios: aplicada a minérios ou concentrados crus ou processados. Podem ser de tipos diferentes de acordo com o caráter das reações químicas envolvidas;
- Fusão redutora → processo que ocorre no alto-forno;
- Fusão concentradora oxidante → o objetivo não é a obtenção do metal elementar, mas a concentrá-lo, formando um produto enriquecido;
- Eletrólise de sais fundidos (fusão eletrolítica) → o produto obtido nesse processo é um metal no estado sólido ou líquido. Algum metal pode ser produzido na forma elementar através da eletrólise de sais fundidos (cloretos, fluoretos, óxidos etc.);
- Fusão metalotérmica;
- Fusão de reação → baseada na interação entre sulfetos e óxidos, sob aquecimento;

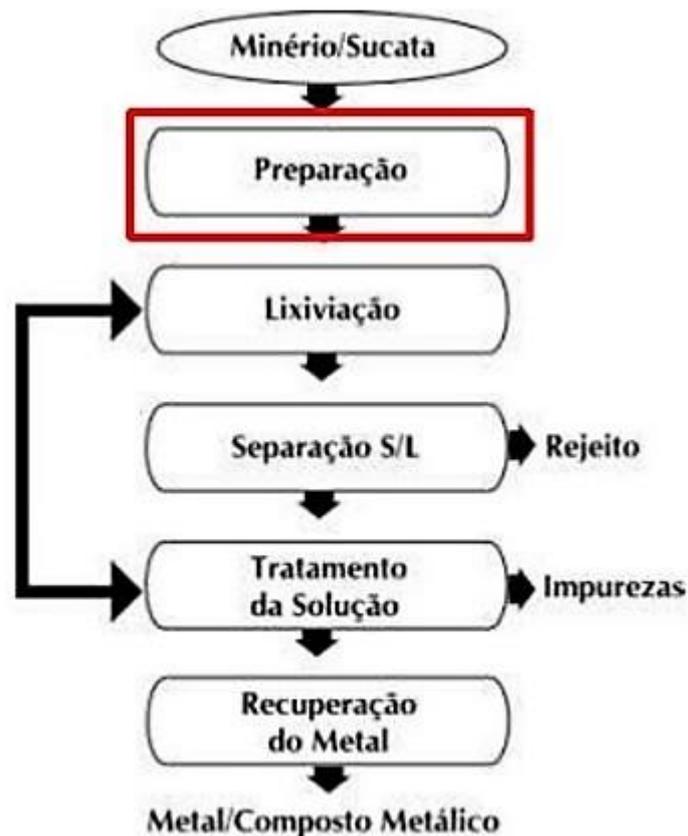
1.3 Refino: seu objetivo é refinar metais das impurezas pelo uso das diferenças nas propriedades do metal principal e das impurezas. Existe uma variedade de técnicas de refino:

- Segregação → baseia-se na formação e na separação pelas densidades das duas fases. A maior quantidade, seja fase líquida ou sólida, é a do metal refinado. Concentrado de impurezas é a segunda fase, insolúvel no metal principal;
- Destilação → os metais são separados através das diferenças nas pressões de vapor dos metais e das impurezas;
- Oxidação → baseia-se nas diferenças de afinidade do metal e do contaminante pelo oxigênio;
- Cloro-refino → baseia-se nas diferenças de afinidade do metal e do contaminante pelo cloro;

- Enxofre-refino → baseia-se nas diferenças de afinidade de vários metais pelo enxofre;
- Carbonila-refino → baseia-se na capacidade de alguns metais formarem, sob condições específicas, compostos voláteis.

2. Processos hidrometalúrgicos: hidrometalurgia designa processos de extração de metais nos quais a principal etapa de separação metal-ganga envolve reações de dissolução do mineral-minério (mineral(is) contendo os metais de interesse) em meio aquoso, conforme ilustrado na figura 14. As aplicações tradicionais da Hidrometalurgia incluem a produção de alumina, ouro, urânio, zinco, níquel, cobre, titânio, terras-raras, dentre outros. Dentre as seguintes etapas:

Figura 14 -Processo Hidrometalúrgico



Fonte: Falcão Jr., 2019

- **Preparação:** a primeira etapa, ajusta as propriedades físico-químicas do sólido, tais como a granulometria, composição, teor, natureza química e porosidade, para a etapa seguinte (lixiviação). A preparação envolve operações clássicas de tratamento de minérios (cominuição, classificação, concentração e separação sólido-líquido também melhorada. Em alguns casos, a preparação para a lixiviação requer modificações químicas do minério ou concentrado. Nesses casos, são utilizados processos pirometalúrgicos, tais como ustulação, redução, hidrometalúrgicos e biohidrometalúrgicos. Nos processos biohidrometalúrgicos, as reações são mediadas por microrganismos, guardadas as condições operacionais necessárias para a atuação eficaz desses microrganismos (i.e., potencial redox, pH, temperatura, concentração de oxigênio enutrientes). O pré tratamento do minério facilitará a extração do metal, seja pela obtenção de uma nova fase de mais pronta dissolução ou pela criação de acesso (porosidade) para os reagentes na matriz sólida que contem o metal a ser lixiviado.
- **Lixiviação:** esta e a recuperação do metal, constituem as etapas mais características do fluxograma hidrometalúrgico. A lixiviação consiste na dissolução seletiva de minerais contendo o metal ou metais de interesse através do contato do sólido (minério ou concentrado) com uma fase aquosa contendo ácidos (frequentemente o ácido sulfúrico), bases (como hidróxidos de amônio e sódio) ou agentes complexantes (como o cianeto de sódio e o hidróxido de amônio), em condições variadas de pressão e temperatura (usualmente de 25 a 250°C). A lixiviação pode ser mediada por microrganismos (biolixiviação), sendo a grande aplicação desta na dissolução de sulfetos. As operações de lixiviação podem ser classificadas em dois grandes grupos: 1. leito estático: lixiviação in situ, em pilhas (de rejeito, estéril ou minério) ou em tanques estáticos (vat leaching). Está em desuso, foi utilizada na mina de cobre de Chuquicamata, Chile; 2. tanques agitados: compreende a lixiviação em tanques agitados- abertos ou sob pressão. Seguem-se a essa etapa, as operações de separação sólido-líquido (ciclonação, espessamento e

filtragem) para a obtenção da fase aquosa ou licor (contendo o metal de interesse

- Separação dos rejeitos;
- Tratamento: tratamento do licor produzido na lixiviação visa a purificação da solução (através da separação de elementos provenientes da dissolução da ganga e que podem afetar a etapa posterior de recuperação do metal) e a concentração da solução contendo o metal dissolvido até os níveis adequados. O tratamento do licor envolve processos tais como: precipitação, adsorção em carvão ativado ou em resinas poliméricas de troca iônica e extração por solventes. Importante destacar que os processos utilizados nessa etapa podem ser aplicados ao tratamento de efluentes, visando à concentração e à remoção de contaminantes.
- Etapa seguinte de recuperação: eventualmente esta etapa pode levar à obtenção de subprodutos.

Importante destacar, no entanto que nas últimas décadas houve um aumento da concorrência e a necessidade de busca meios de atender os clientes com agilidade e qualidade, e por isso, a modernização se fez o único caminho, que levou à uma mudança de pensamento em relação ao trabalhador que passou por processos de treinamentos e qualificações dentro da automação e tecnologia (PAIVA et al., 2013).

Dessa maneira, o desenvolvimento tecnológico que se observa nos processos industriais também está ligada à evolução das teorias científicas voltadas a processos, que se iniciou com Taylor no final do século XIX. O chamado taylorismo foca nas tarefas e defende a não necessidade de qualificação dos trabalhadores, pregando que o que importa é saber fazer o trabalho e produzir, porém, este modelo só se manteve enquanto a demanda era baixa, quando se vendia o que se produzia (PAIVA et al., 2013).

Um fator indispensável é a automação dos processos, o qual facilita o processo de fabricação e evita falhas no processo, como também reduz o tempo de produção e a quantidade de mão de obra, onde uma pessoa é capaz de realizar

o trabalho. Neste sentido, a automação industrial representa os processos na indústria realizados de forma mecânica e/ou automática, substituindo a mão de obra humana por equipamentos (TECCHIO; ANSCHUA; SCHNEIDER, 2018).

Pereira (2007, p. 20) acrescenta que:

é importante enfatizar que a implantação de controles simples e eficazes deve constituir o início de qualquer programa de melhoria na produtividade. Mesmo antes das ações voltadas a atingir o objetivo, a simples implantação de um mecanismo de controle eficiente, por si só, já contribui para a eliminação de desperdícios. Mas somente por meio do estabelecimento de ações com base técnica pode ser feita a abordagem para a solução racional de qualquer problema. A conscientização é um fator primordial para a consistência de qualquer programa dessa natureza, medidas radicais têm efeitos temporários e muitas vezes pouco contribuem para o objetivo global.

Assim, diante do desafio de adequar a produção num ambiente extremamente competitivo e exigente é fundamental desenvolver estratégias competitivas e flexíveis, e por isso surgiram ferramentas mais eficazes capazes de aumentar a capacidade de uma empresa com um mix variado. Trata-se de um sistema de produção enxuta o qual se concentra em estratégias de operações, processo, tecnologia, qualidade, capacidade, arranjo físico, cadeia de suprimentos, estoque e planejamento de recursos, os quais caminham juntos para a formação de processos eficientes, com zero defeito e sem desperdício (FRASCARELI; RODRIGUES, 2013).

Nesse contexto um ponto importante também é desenvolver uma produção diversificada, ou seja:

Segundo Shingo (2000), muitos gestores de indústrias consideram uma produção diversificada como seus grandes desafios. Uma compreensão que confunde características de demanda com o fornecimento, pois, a característica da demanda com produção diversificada de baixo volume significando muitos produtos oferecidos em que a quantidade de cada tipo de peças é pequena. Cenário onde as empresas precisam de uma demanda diversificada, operações de setup para troca de itens a serem produzidos, surge a possibilidades de observar o problema em relação a setup (apud HERNANDES, 2015, p. 15).

Outro fator fundamental é estabelecer um fluxo produtivo eficiente, considerando para tanto os cinco elementos do processo que Shingo identifica no fluxo produtivo:

- Processamento: mudança física no material ou na sua qualidade (montagem e desmontagem);
- Inspeção: comparação com um padrão estabelecido;

- Transporte: movimento de materiais ou produtos, estejam eles em processamento ou acabados;
- Espera do processo: período de tempo que um lote total ou parcial não recebe nenhum tipo de processamento, aguardando outro lote ser processado; e
- Espera do lote: período de tempo que peças de um mesmo lote aguardam outra peça processada (MORAIS, 2010, p. 23).

A partir da definição de um fluxo produtivo é possível estabelecer fluxogramas de processo, o qual objetiva mostrar uma sequência operacional eficiente, que utiliza figuras e símbolos gráficos para facilitar o processo de trabalho e os sistemas produtivos, e isso propicia uma visão ampla possibilitando inclusive a implantação de melhorias neste (HERNANDES, 2015).

Oliveira (2002), fluxograma pode ser definido como uma técnica que aplica uma metodologia com símbolos, deixando claro e preciso o fluxo da produção, mostrando toda a sequência operacional, bem como analisando o desempenho. Segundo Peinado e Graef (2007), a simbologia utilizada é:

- Elipse: indica o início ou final de um processo;
- Círculo: indica operação, é quando se modifica um objeto em qualquer de suas características, ou atividade que agrega valor ao item;
- Seta: mostra quando ocorre a transferência de um item de um lugar para outro, ou simplesmente movimentação;
- Meia elipse: mostra quando é necessária a espera, ou parada intencional, permanece aguardando o próximo encaminhamento;
- Quadrado: indica a inspeção, necessidade de um item ser inspecionado, sendo a quantidade ou condição de qualidade;
- Triângulo para cima: indica armazenamento, é quando o item ou lote fica armazenado; (apud HERNANDES, 2015, p. 19).

Trata-se do mapeamento de processos, que consiste em descrever os processos em termos de como as atividades dentro do processo se relacionam umas com as outras através de diversas técnicas que podem ser usadas com o objetivo de identificar as diferentes atividades que ocorrem durante o processo e mostrar como acontece o fluxo de materiais, pessoas ou informação através do processo (DELGADO; REIS; REIS, 2014).

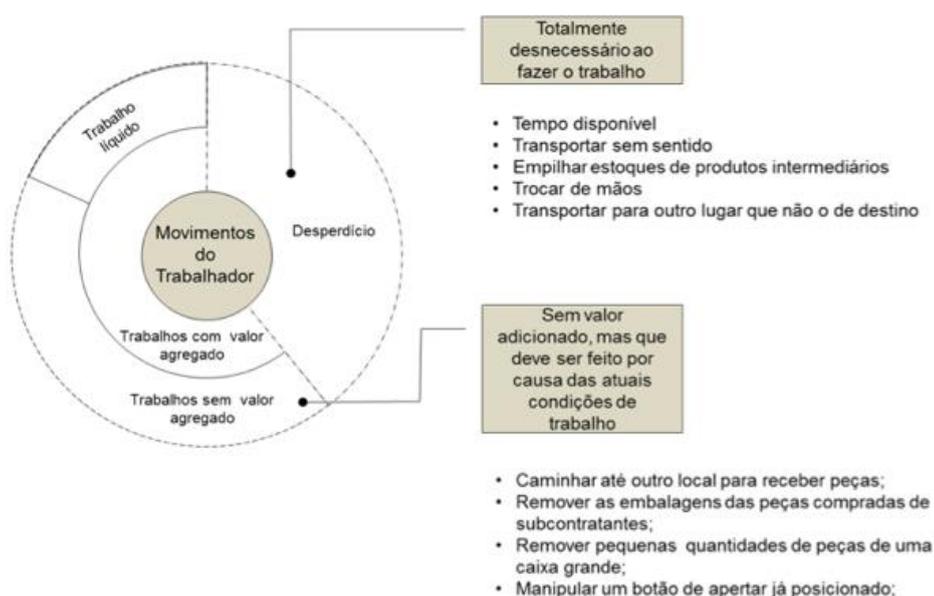
O mapeamento de processos define claramente como funcionam os macros e subprocessos, seus relacionamentos, quem realiza cada atividade e quando. Os processos variam dentro de uma organização em consequência de uma variedade de fatos: pessoas diferentes com atividades de negócio distintas trabalham com instruções de diferentes gestores com fornecedores diferentes. A variação das entradas leva muitas vezes a variações nas saídas. (DELGADO; REIS; REIS, 2014, p. 556).

Estes mesmos autores destacam que o mapa de processos de negócio de uma organização representa a forma como os processos são executados, e

reforçando, o modelo de processo de negócio tem como objetivos gerais: servir de base para a melhoria dos processos; servir de base para a inovação dos processos; e servir como repositório de conhecimento comum para a organização.

Considerando a organização dos processos, Morais (2010) cita que possível demonstrar o processo de produção através da análise do movimento dos trabalhadores afim de evitar desperdícios, que com base em Ohno os desperdícios são definidos como o movimento repetido e desnecessário que deve ser eliminado. E o mesmo ilustrou na figura 15, os movimentos dos trabalhadores no processo produtivo, classificando o trabalho de três maneiras, a citar: trabalho que agrega valor, trabalho que não agrega valor e trabalho que não agrega valor e não é necessário.

Figura 15 -Movimentos do trabalhador



Fonte: MORAIS, 2010

Segundo Morais (2010), atividades que agregam valor ao produto ou serviço são atividades que agregam valor aquelas que transformam a matéria-prima, modificando a sua forma e qualidade, gerando e agregando valores que são normalmente percebidos pelo cliente final. Todo processo agrega valor, em outras palavras, quando processadas a matéria-prima ou peças são transformadas em produtos que vão gerar valor adicionado atendendo uma

necessidade do cliente final.

Enquanto que, as atividades que não agregam valor ao produto ou serviço, porém necessárias, são as atividades que não beneficiam a matéria-prima, por exemplo: movimentação para alcançar as peças, operações manuais de comandos do equipamento etc. Apesar de não adicionarem valor, existem atividades nesta classificação que são necessárias;

Já as atividades que não agregam valor ao produto ou serviço e são desnecessárias: são todas as atividades que não contribuem para as operações e são totalmente desnecessárias. Dentro deste conceito, pode-se citar: espera demasiada, estoques altos intermediários entre operações, reabastecimentos, movimentação excessiva do produto etc. Essas atividades são classificadas como desperdícios.

A experiência prática do chão de fábrica demonstra que o percentual de trabalho que, de fato, agrega valor a um produto ou serviço é menor do que o esperado, o que faz com que haja a necessidade de se transformar todo e qualquer movimento em trabalho que agregue valor, pois estar se movendo nem sempre significa estar trabalhando (MORAIS, 2010).

### **2.2.1 Processo Produtivo**

Processo de produtivo é o conjunto de ações, atividades ou tarefas conduzidas de maneira sistemática, interligadas que se combinam de maneira ordenada para transformar matérias primas em produtos finais. De acordo com Shingo (2003, p.29) toda produção é composta por processos e operações.

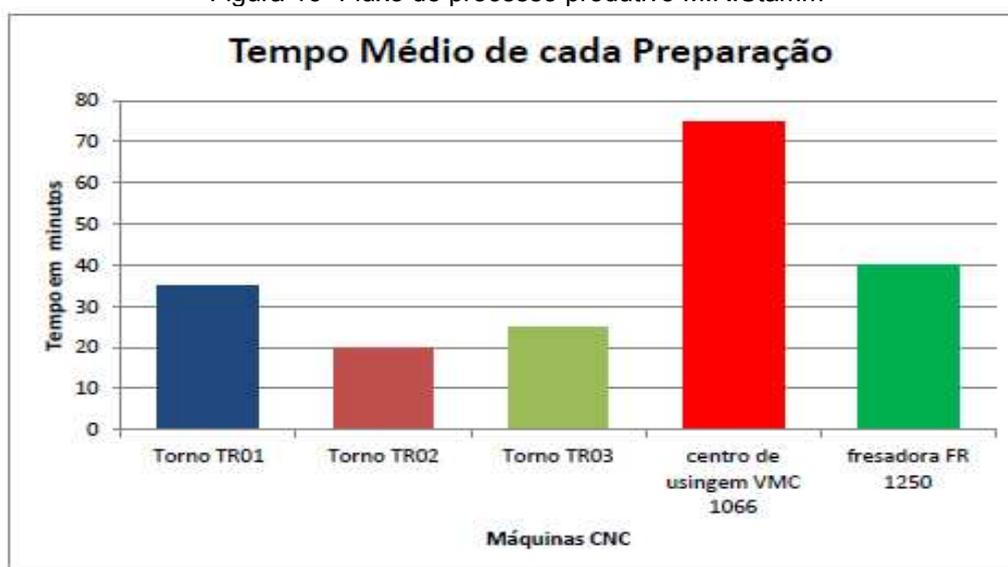
A produção artesanal surge no fim da idade média com fixação das populações em determinadas regiões do globo. Era uma produção independente, onde o produtor possuía os meios de produção: instalações, ferramentas e matéria-prima e na sua própria casa realizava a produção.

A partir de 1760, durante a revolução industrial, deu-se início a implantação de novas tecnologias, visando uma busca constante de encontrar estratégias para produzir melhor e mais rápidas. O processo industrial foi uma transformação profunda, uma mudança drástica no modo de fabricação dos produtos. E começaram a surgir às fábricas, a produção em série e o trabalho assalariado. O desenvolvimento técnico e tecnológico apresentados em processos

industriais foi evoluindo a cada dia. Isso pode ser verificado na evolução das teorias científicas voltadas a processos, que se iniciou através de Frederick Taylor a partir do final do século XIX. Taylor tinha o foco voltado nas tarefas. Defendia que não era necessária a qualificação dos trabalhadores, que o importante era saber fazer o trabalho e produzir. Este modelo se manteve somente até quando a demanda era baixa, ou seja, tudo que se produzia era vendido. Mas, com o aumento da concorrência e a busca de conseguir atender os clientes com rapidez e qualidade, surgiu a necessidade de modernização. Sendo assim, houve a mudança de pensamento em relação ao trabalhador. Ele já não era um simples operador que tinha que 'somente' saber fazer seu trabalho, mas se iniciou o processo de treinamentos e qualificações do profissional para o uso devidamente correto do equipamento instalado. O trabalhador qualificado trabalha melhor e produz mais, otimizando a produção e aumentando o lucro.

O processo produtivo da metalúrgica costuma ser dividido entre usinagem CNC, usinagem convencional, ferramentaria que é a montagem e manutenção dos dispositivos, prestação de serviços de qualidade e retrabalhos de peças não conformes de clientes. Na figura 16, pode ser observado o fluxo do processo produtivo, que de maneira geral contempla todo o fluxo de produção da empresa (HERNANDES, 2015).

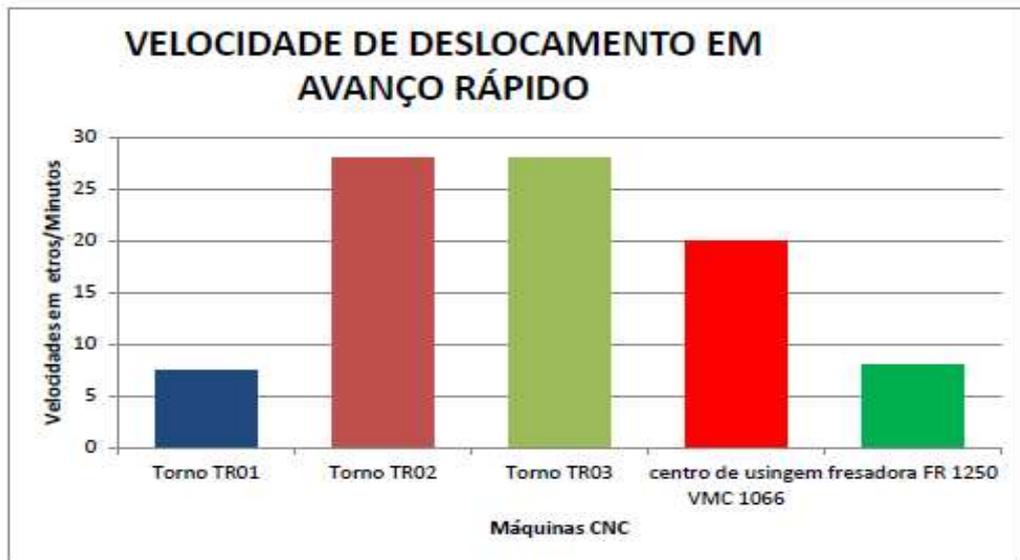
Figura 16 -Fluxo do processo produtivo M.R.Stamm



Fonte: HERNANDES 2015, p. 28.

Hernandes (2015) relata que a usinagem CNC fonte deste estudo envolve três tornos, centro de usinagem e uma fresadora. O processo produtivo no setor de usinagem CNC conta com 10 operadores divididos em dois turnos de trabalho, setor onde o pesquisador atua em funções técnicas de responsável e programador da produção. Na pesquisa de Hernandez (2015) foram observados os tempos de parada entre a troca de um item para outro, e o tempo médio de preparação de cada máquina, considerando que a usinagem com tornos CNC abrange na maioria dos casos itens seriados, tendo o sistema de fixação placas com castanha universal ou em caso de geometria diferenciadas castanhas desenvolvidas de acordo com a necessidade. As ferramentas usadas nos tornos normalmente não necessitam de trocas, ou são de no máximo duas ferramentas, conforme a Figura 17 a seguir.

Figura 17 -Gráfico tempo médio de setup



Fonte: HERNANDES 2015, p. 29.

## 2.3 Máquina

As tecnologias utilizadas no processo são as máquinas, equipamentos e dispositivos para a produção que agrega valor ao atingir os objetivos estratégicos da produção. Compreende-se que as operações usam tecnologia mesmo aquelas que contam com intensivo trabalho humano às mais sofisticadas e complexas. O grau de automação da tecnologia é inversamente proporcional ao grau de intervenção humana que certa operação exige. A automação apresenta dois benefícios básicos: a economia nos custos de mão-de-obra direta e a redução da variabilidade da operação. É preciso considerar não apenas a redução dos custos, mas se a tecnologia pode desempenhar a tarefa melhor e de maneira mais segura que uma pessoa (FARIAS et al., 2014). Segundo Farias et al., (2014) salientam que a escala da tecnologia é definida pela escolha entre uma unidade de tecnologia de grande escala ou diversas menores. Diversas são as vantagens desta primeira por garantir vantagens de custo. Porém, outras empresas do ramo são mais eficientes se operadas em menor escala. O grau de integração tecnológica representa a ligação de atividades, antes separadas, com um único sistema. A tecnologia integrada, apesar de mais cara, é mais ágil, mas como ponto negativo ocorre quando qualquer problema todo o sistema integrado colapsa.

Uma máquina precisa funcionar adequadamente para permitir que o produto flua sem grandes interrupções pelo sistema. Isto não significa que a máquina não poderá apresentar falhas. Mas, se elas ocorrerem, é fundamental que sua frequência seja controlada por condições de operação da linha, como o tempo de reabastecimento de um estoque. As falhas são consideradas inevitáveis e devido à incerteza de sua ocorrência são criados estoques de segurança, que acabam aumentando o lead time de fabricação do produto. É imprescindível que sejam usadas ferramentas para minimizar o risco de falhas e tornar a máquina mais confiável. Conseqüentemente, o volume do estoque de segurança poderia ser reduzido (PELEGRINO, 2007, p. 32).

Ainda de acordo com Pelegrino (2007) o estudo da disposição de sistemas faz uso de indicadores como o MTBF (tempo médio entre falhas) e o MTBR (tempo médio de reparo). A partir desses fatores pode-se calcular a disponibilidade (D) de um equipamento através da fórmula:  $D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$

Assim institui-se a Distribuição de Poisson:

Distribuição de Poisson é empregada quando se deseja “estudar o número de sucessos em um intervalo contínuo, que pode ser um intervalo de tempo, comprimento, superfície etc.” (COSTA NETO; CYMBALISTA, 2000). Neste trabalho, a distribuição será empregada para analisar a probabilidade de falhas em uma máquina que apresenta uma determinada taxa de falhas. Para o emprego da distribuição de Poisson algumas condições devem ser atendidas. São elas:

- Eventos independentes;
- Eventos aleatórios;
- Em intervalos muito pequenos, a probabilidade de mais de um sucesso é desprezível;
- Em intervalos muito pequenos, a probabilidade de um sucesso é proporcional ao comprimento do intervalo.

Nesse sentido, cabe destacar que máquinas, ferramentas e instrumentos, não devem ser complexos, e sim projetados de modo a facilitar as operações. “A equipe de aumento de produtividade é responsável pelas mudanças físicas nos equipamentos, ferramentas e/ou métodos que simplifiquem as operações” (PEREIRA, 2007).

Se faz importante padronizar a atividade para acabar com formas de somente realizar a atividade e estabelecer a forma correta, nivelando o conhecimento operacional (BARBOSA, 2015). Onde, a usinagem pode ser realizada com máquinas convencionais e máquinas numéricas computadorizadas, desde seja capaz de realizar funções de usinagem comuns (HERNANDES, 2015).

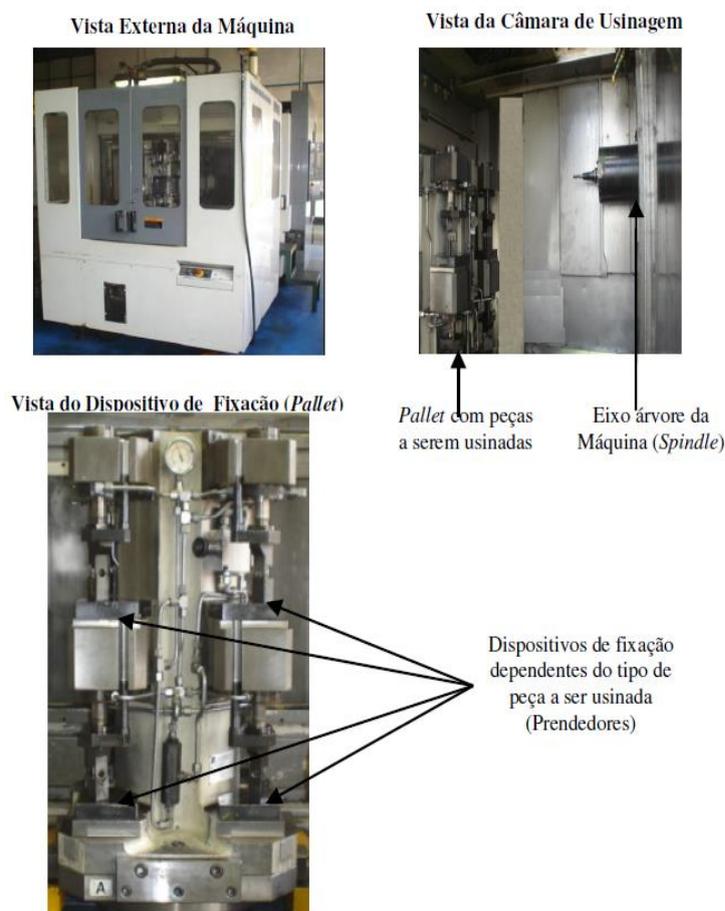
Na usinagem se atinge uma gama de processos de fabricação para dar forma ou transformar um componente ou matéria prima em um produto através da remoção de material. O material removido se transforma em cavaco, e quando o processo é automatizado controlado por um computador entende-se por usinagem CNC. Processos de usinagem envolvem operações de corte que permitem remover excessos de um material bruto com auxílio de uma ferramenta até que este resulte em uma peça pronta que, posteriormente, irá compor algum engenho mecânico que, por sua vez, farão parte de bens duráveis. Nestas operações de corte são geradas aparas que se costumam chamar de cavacos. Assim, processos de usinagem, invariavelmente, implicam na geração de cavacos (HERNANDES, 2015, p. 15).

Máquinas são equipamentos essenciais pois a grande maioria dos produtos manufaturados possuem características que precisam usinagem, variando o nível de precisão, podendo dizer que é um dos processos mais importantes do sistema de manufatura, agregando valor ao produto final.

Este setor, conforme a fundamentação teórica (PEREIRA, 2007), deve ser organizado com estações de trabalho unitárias, pois cada máquina faz todas

as operações de usinagem necessárias à peça, sendo estas o Centro de Usinagem CNC, as máquinas Multi-fuso e os tornos CNCs. A seguir, tem-se a descrição das máquinas que fazem parte do setor, como o Centro de Usinagem, conforme figura 18.

Figura 18 -Centro de Usinagem CNC



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 54

As peças nesta máquina são colocadas manualmente em 2 dispositivos de fixação (pallets). Pallet é a base de fixação para os dispositivos que prendem as peças, sendo que cada pallet pode ser preparado com até 8 peças diferentes de acordo com o dispositivo de fixação específico (Prendedor) colocado. Estes pallets vão para a câmara de usinagem com as peças um de cada vez, portanto, quando um pallet está com as peças na câmara de usinagem, o outro está sendo abastecido pelo operador. Este Centro de Usinagem CNC possui capacidade em seu magazine para até 40 ferramentas e produz aproximadamente 100 peças/hora (PEREIRA, 2007). Na figura 19, tem-se a

representação dos tornos CNCs utilizados no setor de usinagem de uniões:

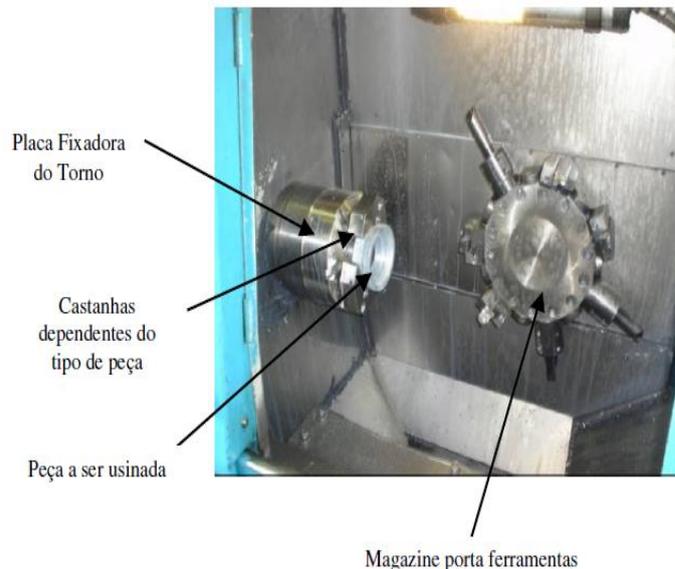
Figura 19 -Torno CNC



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 55

As peças são colocadas manualmente na placa fixadora através das castanhas que variam de acordo com a peça a ser fabricada. A figura 20 representa a câmara de usinagem do torno CNC.

Figura 20 -Câmara de Usinagem do Torno CNC



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 55

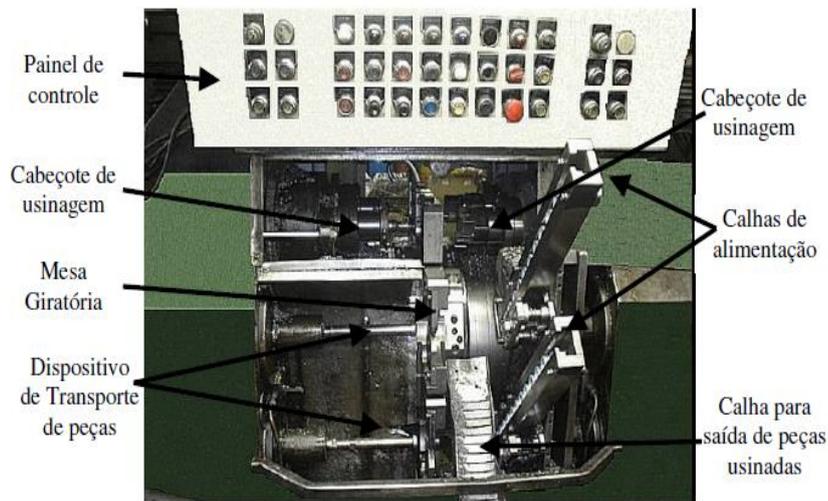
O magazine da máquina comporta até 7 ferramentas de torneamento, podendo ser colocadas segundo a necessidade ou o tipo de peça a ser fabricada na máquina. As Máquinas Multi-Fuso geralmente são muito produtivas, chegando

a fabricar até 600 peças por hora cada máquina, dependendo do tamanho da peça.

Estas máquinas possuem um sistema de alimentação de peças automático, desde que o operador mantenha as calhas de alimentação abastecidas.

A máquina faz o carregamento das peças por meio dos dispositivos de transporte até os dispositivos de fixação que estão acoplados na mesa giratória. Esta, por sua vez, transporta as peças para os vários cabeçotes de usinagem localizados no fuso. Na figura 21, tem-se uma visão geral do sistema de alimentação da máquina.

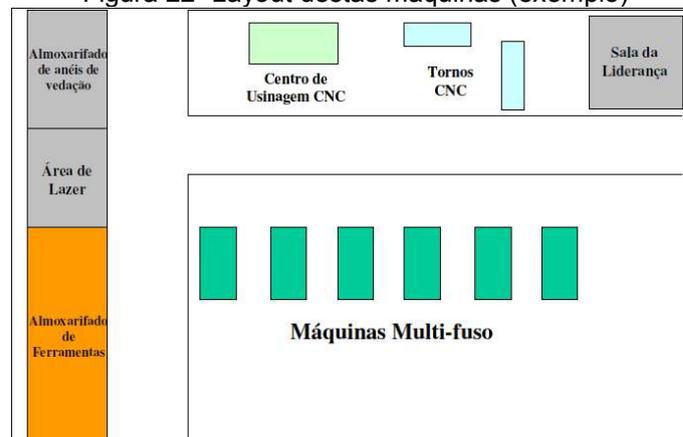
Figura 21 -Sistema de Alimentação da Máquina Multi-fuso



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 57

Na sequência tem-se um exemplo de layout destas máquinas, conforme ilustrado na figura 22.

Figura 22 -Layout destas máquinas (exemplo)



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 53

### 2.3.1 Programação de máquinas

Souza (2016) estuda 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. Mostra que o problema é um problema, mesmo para uma única máquina e uma etapa de deterioração fixa. Ele apresenta um algoritmo para o caso especial dos tempos de processamento de base idênticos e, também propõe um algoritmo de aproximação para o caso geral.

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 (SOUZA, 2016). 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 enxame inicial, uma heurística modificada chamada MBHG é incorporada na inicialização da população (SOUZA, 2016).

Ainda segundo Souza (2016) 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.

SOUZA (2016) fornece 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%.

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 (SOUZA, 2016).

Este mesmo autor resolve 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. Ele considera 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), ele apresenta 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.

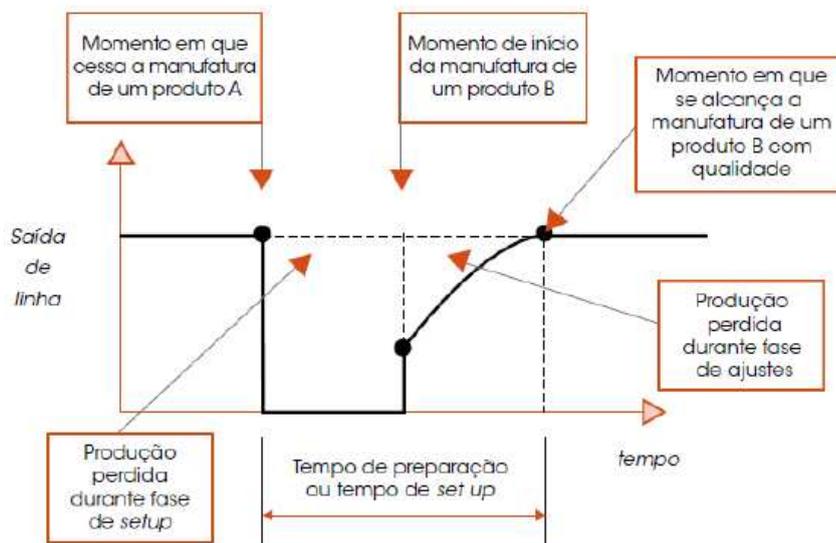
## 2.4 Redução de tempo

Segundo Barbosa (2015) os tempos são definidos como o tempo decorrente entre a produção da última peça boa do lote anterior e a primeira peça boa do lote seguinte, dentro do coeficiente normal de produção, conforme figura 23. Tradicionalmente, esses tempos são longos, os quais estimulam a produção em lotes maiores e conseqüentemente à superprodução e ao aumento dos desperdícios e estoques.

Por isso é importante o entendimento do desperdício de tempo na produção, onde:

Segundo Ghinato (2000), o desperdício com o tempo de espera origina-se de um intervalo de tempo no qual nenhum processamento, transporte ou inspeção está sendo executado. O lote fica parado, à espera de sinal verde, para seguir em frente no fluxo de produção. Esse tempo de parada constitui um desperdício, refere-se, tanto à matéria-prima, quanto aos produtos semi-acabados que esperam pelo processo seguinte, assim como o acúmulo de estoques excessivos a serem entregues (apud MORAIS, 2010, p. 21).

Figura 23 -Gráfico “Saída de linha por Tempo”, definindo o conceito de Setup



Fonte: SATOLO & CARLAGE, 2008

Uma das causas do desperdício de tempo é a espera que aumenta o *lead time*, (tempo entre o pedido do cliente e a entrega). Pode-se considerar lead time da seguinte forma (MORAIS, 2010):

*Lead Time* = Tempo de Processamento + Tempo de retenção

Onde:

- Tempo de processamento: tempo total em que o produto está sendo processado;
- Tempo de retenção: tempo em que o produto está no fabricante, ou em sua posse, porém aguardando algum tipo de processamento, seja ele em estado de matéria-prima, semiacabado (em processamento) ou produto final.

O mesmo Moraes (2010) destaca três tipos de desperdícios por espera:

- a) Desperdício por Espera no Processo: o lote inteiro aguarda o término da operação que está sendo executada no lote anterior, até que a máquina, dispositivos e/ou operadores estejam disponíveis para o início da operação (processamento, inspeção ou transporte). As esperas de processo também podem estar relacionadas às taxas de defeitos superestimadas, causando a espera do processamento do excedente, ou, devido à antecipação da programação, os estoques intermediários podem ser gerados por desbalanceamento, para a absorção de quebras, refugos e para segurança gerencial;
- b) Desperdício por Espera do Lote: é a espera a que cada peça componente de um lote é submetida até que todas as peças do lote tenham sido processadas para, então, seguir para o próximo passo ou operação, por exemplo: quando um lote de 1000 peças está sendo processado e a primeira peça, após ser processada, fica esperando as outras 999 peças passarem pela máquina para poder seguir no fluxo com o lote completo. Esta perda é imposta sucessivamente a cada uma das peças do lote. Supondo que o tempo de processamento na máquina M seja de 10 segundos, a primeira peça foi obrigada a aguardar pelo lote todo por 2 horas e 47 minutos (999 pçs. x 10 segundos) desnecessariamente;
- c) Desperdício por Espera do Operador: trata-se da ociosidade gerada quando o operador é forçado a permanecer junto à máquina, de forma a acompanhar/monitorar o processamento do início ao fim, ou devido ao

desbalanceamento de operações. Enquanto o operador assiste ao trabalho da máquina, ele não tem possibilidade de fazer outra atividade; conseqüentemente, não agrega valor. Esse tipo de desperdício é literalmente um "tempo morto".

Portanto, é necessário buscar a maior produtividade para ser eficiente no posicionamento no mercado e realizar troca de produto com eficácia e agilidade, pois este tempo interfere na produtividade da linha (BARBOSA, 2015).

Para que ocorra a redução de tempo na metalurgia é necessária uma visão estratégica das operações para assegurar que os processos de produção estejam alinhados com as estratégias da organização no âmbito financeiro e de mercado. Para que isso ocorra, é preciso que haja um departamento responsável pela coordenação dos setores envolvidos com a produção no que se refere à aplicação dos recursos produtivos, visando atender aos planos estratégicos, táticos e operacionais. Esse departamento de apoio à produção é conhecido por PCP. As decisões referentes às operações devem considerar elementos externos à empresa, como clientes, fornecedores, concorrentes e acionistas. O PCP, como departamento de apoio da produção, deve coordenar e decidir sobre a aplicação dos recursos produtivos visando à melhor maneira de atender aos planos estratégicos, táticos e operacionais (FARIAS et al., 2014, p. 2).

Além disso, para a redução de tempo:

são necessários o planejamento e controle, "que representam a atividade onde se decide sobre o melhor emprego dos recursos de produção, assegurando, assim, a execução do que foi previsto, envolvendo as seguintes atividades: administração da capacidade produtiva; administração de estoques; administração da cadeia de suprimentos; Material requirements planning (MRP); planejamento e controle just in time; gestão de projetos; gestão da qualidade (FARIAS et al., 2014).

As atividades do PCP são divididas em três níveis hierárquicos de planejamento e controle, sendo: Nível Estratégico (participação do PCP nesse nível envolve a elaboração do Planejamento Estratégico da Produção, gerando um Plano de Produção); Nível Tático (PCP desenvolve o Planejamento-Mestre da Produção, obtendo, em seguida, o Plano-Mestre de Produção - PMP); Nível Operacional (o PCP prepara a Programação da Produção, administrando estoques, sequenciando, emitindo e liberando ordens de compra, montagem e fabricação e também participa do Acompanhamento e Controle da Produção) (FARIAS et al., 2014).

E, portanto, é imprescindível destacar que:

Produzir é um jogo constante de fazer mais com menos (HOPP e SPEARMAN, 2008). Isto foi claramente o oposto do que o mundo ocidental estava fazendo com o seu sistema de produção em massa, com pensamentos voltados somente em torno de materiais e de planejamento de recursos e de sistemas informatizados complexos oriundas da filosofia de produção em massa (DALOSTO et al., 2014, p. 2866).

Um dos pioneiros em produção em tempo enxuto é Shigeo Shingo que foi contratado pela Toyota Motor Company para desenvolver uma metodologia de redução de tempo de preparo de máquinas na empresa, responsável por importante método de redução de tempo, o STP:

[...] o Sistema Toyota de Produção (STP) é considerado um dos pioneiros no estudo e na implantação da redução dos tempos de setup na elaboração de literaturas acadêmicas acerca do tema com a colaboração do consultor Shigeo Shingo. Em seu livro “Sistema de Troca Rápida de Ferramentas” Shingo afirma: O desenvolvimento deste sistema levou 19 longos anos. Começou quando eu conduzia um estudo de melhoria para as indústrias Toyota, em 1950. Percebi, pela primeira vez, que existem dois tipos de operações: tempo de preparação interno (TPI) que pode ser realizada somente quando a máquina estiver parada, e tempo de preparação externo (TPE, ou preparação externa), que pode ser realizada com máquinas trabalhando [...] (PAIVA et al., 2013, p. 4).

Assim, os gestores das empresas devem se preocupar em superar o desafio de produzir diversidade em pequenas quantidades. Uma estratégia que vem sendo implantada é a redução dos estoques e aumento da diversificação para oferecer maior quantidade de modelos para seus clientes (HERNANDS, 2015). A importância e os benefícios de redução dos tempos/custos atuais são de grande importância para fomentar a utilização de vários recursos. Sendo que segundo Souza (2016) o nível de redução do tempo indica que o grau da redução do tempo é economicamente justificável.

Pode-se então dizer que 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 (SOUZA, 2016).

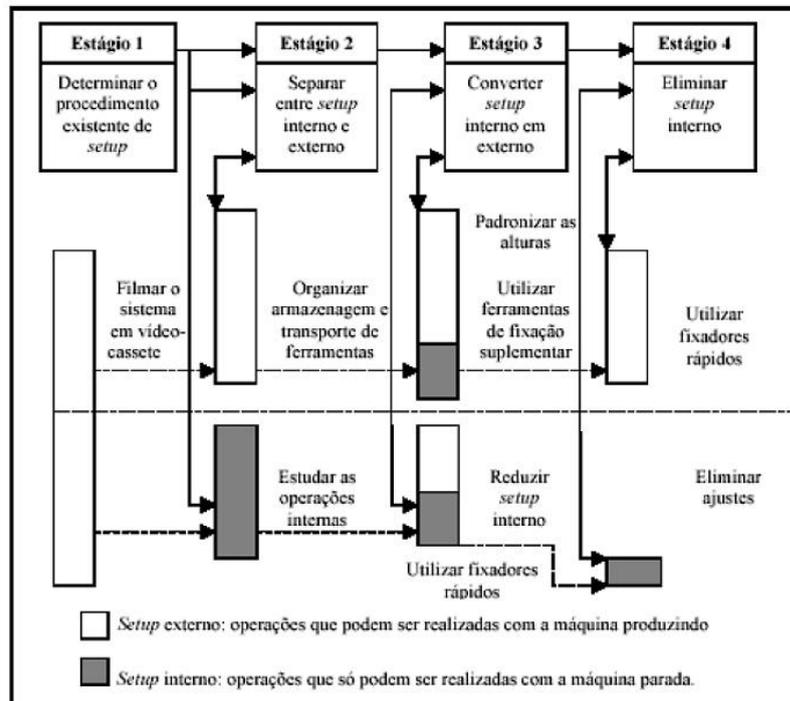
Mas, segundo Souza (2016) a maioria das organizações que são eficazes na redução dos tempos de setup, descobriram grandes benefícios na redução do lead time e aumento da capacidade de resposta ao cliente. O *Lead Time* (prazo de execução ou tempo de ciclo) é quase diretamente proporcional ao trabalho 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, 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 pode ser implementado de forma eficaz (SOUZA, 2016).

## 2.5 Tempo de Preparação (*Setup*): Conceito e Origem

Segundo Black (1998), “tempo de *setup* é aquele decorrido desde a saída da última peça boa do *setup* anterior até a primeira peça boa do próximo”. Simplificando, tempo de *setup* é o tempo de parada das máquinas, seja na preparação ou troca de ferramentas, o que ocorre durante os estágios do processo produtivo, conforme figura 24.

Figura 24 -*Setup*: estágios do Processo Produtivo



Fonte: (Black, 1998, p. 25)

Tem início tal análise quando a Toyota Motor Company contrata o consultor japonês Shigeo Shingo para desenvolver uma metodologia de redução de tempo de preparo de máquinas na empresa. O consultor realizou um dos primeiros estudos mais aprofundados realizado sobre tempo de *setup* em 1959, quando uma equipe da Toyota foi treinada com esse propósito.

Uma década depois o consultor Shigeo Shingo aprimorou os estudos e criou um novo método de redução de tempo de *setup* chamado método SMED (*Single Minute Exchange of Die*) que trabalha com foco na redução dos tempos de séries e troca de ferramentas.

Assim, o Sistema Toyota de Produção (STP) é considerado um dos pioneiros

no estudo e na implantação da redução dos tempos de *setup* na elaboração de literaturas acadêmicas acerca do tema com a colaboração do consultor Shigeo Shingo. Em seu livro “Sistema de Troca Rápida de Ferramentas” Shingo afirma:

“O desenvolvimento deste sistema levou 19 longos anos. Começou quando eu conduzia um estudo de melhoria para as indústrias Toyota, em 1950. Percebi, pela primeira vez, que existem dois tipos de operações: tempo de preparação interno (TPI) que pode ser realizada somente quando a máquina estiver parada, e tempo de preparação externo (TPE, ou preparação externa), que pode ser realizada com máquinas trabalhando (...)” (SHINGO,2003, p.25).

Ao realizar as primeiras análises após a implantação do método de Shingo no Sistema Toyota de Produção foi constatada que além de ser um conceito inovador e genuinamente japonês, seria também uma teoria muito comum cuja prática seria difundida na engenharia industrial em todo o mundo.

### 2.5.1 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições também conhecida como *TOC (Theory of Constraints)* teve início na década de 1970, quando o físico Israelense Eliyahu Goldratt começou a se interessar a se envolver com os problemas de produção. Goldratt elaborou um método de administração da produção que foi muito bem sucedido.

Na década de 1980, Goldratt escreveu o livro "A Meta", onde começou a divulgar a teoria de seu método de administração da produção. O livro foi escrito em forma de romance, apresentando a dificuldade de administração da produção de um gerente de fábrica, que ao conhecer a teoria criada por Goldratt e a colocando em prática na fábrica, consegue recuperar a competitividade da empresa e assim aprende como conseguir gerar mais lucros, aumentando sua produtividade. Goldratt (1994, p. 30) afirma que “a produtividade é o ato de fazer uma empresa ficar mais próxima de sua meta”.

Com o lançamento do livro, o método foi divulgado e as empresas se interessaram em aprender a técnica. Até os dias atuais, o livro é muito procurado para a aplicação dos princípios da *TOC (Theory of Constraints)* nas empresas.

Aplicando a técnica de Goldratt na produção, as empresas notaram uma melhoria significativa nos resultados, porém continuavam surgindo problemas em outras áreas. Foi quando Goldratt percebeu que não adiantava dar soluções prontas para as empresas, pois cada empresa teria um tipo de problema diferente. Então ele resolveu ensinar as pessoas o raciocínio lógico para o processo de melhoria contínua para cada empresa resolver o seu problema e garantir sucesso no futuro, pois Goldratt (1994, p. 24) defende que “o futuro da empresa depende de nossa habilidade em aumentar a produtividade”. A implantação da TOC era feita por líderes, pessoas que com o seu carisma conseguiam mudar as práticas e políticas das empresas. O que foi verificado é que na maioria dos casos as implementações eram bem sucedidas, porém em curto prazo as restrições continuavam surgindo em outras áreas. Isso fez com que Goldratt se dedicasse ainda mais em encontrar uma solução e destaca:

“Não devemos olhar para cada área e tentar ajustá-la. Devemos tentar otimizar o sistema inteiro. Alguns recursos têm que ter mais capacidade que outros”. (GOLDRATT, 1994, p. 133)

No final da década de 1990, Goldratt criou estratégias que envolviam todas as áreas da empresa e cujo principal desafio era fazer todas as áreas trabalharem juntas para criar, capitalizar e sustentar uma vantagem competitiva. A essas estratégias, ele deu o nome de "Visão Viável", cujo objetivo é fazer com que a empresa tenha grande crescimento sustentável e que com esse crescimento, mude também a cultura da empresa para uma cultura de processo de melhoria contínua, como afirma:

“Se toda organização foi criada com um propósito e toda organização compreende mais de uma pessoa, então somos obrigados a concluir que o propósito de uma organização requer os esforços sincronizados de mais de uma pessoa”. (GOLDRATT, 1994, p. 312)

Segundo Corbett Neto (1997, p. 39), a abordagem da Teoria das Restrições se dá pela lógica que envolve o processo de análise e praticidade de operacionalização. Como princípio lógico o autor (Idem 1997, p. 39) enfatiza que “a Teoria das Restrições é baseada no princípio de que existe uma causa comum para muitos efeitos, de que os fenômenos vistos são consequências de causas mais profundas, e qualquer empresa é encarada como um sistema”.

O ponto principal e essencial da TOC é reconhecer e gerenciar a restrição do sistema, possibilitando assim o início da aplicação da ferramenta estratégica para cada empresa, sendo que restrição pode ser definida como qualquer coisa que impeça uma organização de alcançar a sua meta, como afirma Wanke:

“Uma restrição é qualquer coisa numa empresa que impede ou limita seu movimento em direção a seus objetivos a serem atingidos. Para a maior parte das empresas, o objetivo principal é o lucro presente e sua sustentabilidade no futuro”. (WANKE, 2008, p. 123)

Para exemplificar de forma simples podemos usar uma corrente. Se forçarmos uma corrente, ela quebra no elo mais fraco, ou seja, esse elo mais fraco é a ação a restrição desta corrente. E não é possível todos os elos terem a mesma resistência, portanto como essa corrente, todo sistema possui pelo menos uma restrição e deve ser analisada cada uma de forma diferente da outra, como explica Goldratt:

“É como medir uma corrente de acordo com seu peso. Cada elo é importante. É claro que, se os elos são diferentes uns dos outros, temos que usar um princípio, o princípio da regra vinte – oitenta. Vinte por cento das variáveis são responsáveis por 80% dos resultados”. (GOLDRATT, 1994, p. 283)

Segundo Goldratt (1994, p. 281), na Teoria das Restrições a palavra-chave passa a ser “restrição” ou “gargalo”. As restrições podem ser físicas ou não físicas. Restrições físicas é a capacidade de máquinas e/ou setores, falta de mão de obra ou mão de obra não qualificada, falta de pedidos, indisponibilidade de matéria-prima, dificuldade de logística; por sua vez restrições não físicas: são as políticas e ou culturas organizacionais que são as normas, procedimentos e práticas adotadas pela empresa.

### **2.5.2 Funcionamento da Teoria das Restrições**

De acordo com Goldratt (1994), o processo de otimização ou melhoria contínua aplicada pela Teoria das Restrições segue uma ordem lógica em cinco passos:

1. O primeiro é identificar a restrição do sistema: Identificar toda e qualquer restrição, ou seja, qualquer coisa que impede ou limita o trabalho da

empresa em direção a seus objetivos a serem atingidos. Numa fábrica haverá sempre um recurso que limita o seu fluxo máximo, assim como numa corrente há sempre um elo mais fraco. Por isso, é necessário identificar o elo mais fraco.

2. O segundo é explorar a restrição do sistema: Encontrar formas de maximizar o rendimento e minimizar custos por cada restrição, explorando o máximo possível dessa restrição para aumentar o nível de produção de todo o sistema.
3. O terceiro, por sua vez, consiste em subordinar todo o resto à política de exploração da restrição: O objetivo aqui é assegurar que não haja limitação da restrição por nenhum outro recurso, ou seja, tudo que possa eliminar essa restrição deverá ser considerado e analisado para ser colocado em prática.
4. O quarto é elevar a restrição do sistema: Nesta etapa, consideram-se as várias alternativas para investir mais na eliminação da restrição, colocando em prática maneiras de tornar a restrição o mais produtiva possível, poupando tempo de restrição como, por exemplo, utilizando máquinas, talvez menos eficientes de forma mais intensa, gerando mais turnos ou algo que dê suporte à atual restrição.
5. O quinto, se num passo anterior a restrição for quebrada, volte ao passo 1, mas não deixe que a inércia se torne a restrição do sistema. Ao eliminar um gargalo, outro recurso pode se tornar a restrição, talvez em outra máquina, local de armazenamento ou no mercado.

Usando esse processo de otimização, podem-se enfocar os esforços nas restrições de um sistema que determinam seu desempenho e assim podemos melhorar significativamente seu desempenho a curto prazo.

### **2.5.3 A Aplicação da Teoria das Restrições na redução do tempo de Setup pelo método SMED ( Single Minute Exchangeof Die)**

O método SMED não é o primeiro e nem o único sistema de redução do tempo de *setup*, mas ficou muito conhecido com a aplicação e divulgação do sistema

Toyota de Produção. Em 2003, Shingo descreveu o método SMED em seu livro “Sistema de Troca Rápida de Ferramenta” numa breve estrutura conceitual, algumas técnicas que auxiliam na metodologia e exemplos de aplicações do SMED em empresas.

Os estudos da redução de tempo de *setup* através da Teoria das Restrições acontecem de forma simples e integrada, onde inicialmente se aplica a Teoria das Restrições através de seus passos fundamentais: identificar, explorar, subordinar, elevar e voltar ao passo inicial.

Ao aplicar o primeiro passo, através da identificação da restrição, é aplicado o método SMED de redução de tempo de *setup* para aplicação nos demais passos da Teoria das restrições e assim eliminar essa restrição.

O método SMED contribui para a redução do tempo de preparação do sistema produtivo para a execução da produção aumentando a produtividade e assim atendendo ao mercado de forma mais rápida e eficiente gerando maior lucro para a empresa.

O tempo de preparação de equipamentos e produção são operações que estão ligadas diretamente ao aumento da produtividade, pois aumenta o tempo total do ciclo de produção.

O método SMED possui dois estágios preliminares e fundamentais:

O primeiro estágio consiste em diagnosticar as possíveis causas dos tempos elevados de parada de máquina e separação do que é operação interna e operação externa.

Operações internas: são operações que só podem ser executadas com a máquina parada, como por exemplo, a montagem e a desmontagem das ferramentas.

Operações externas: são operações que podem ser realizadas com a máquina em produção, como, por exemplo, o transporte das ferramentas ou matéria prima para a área de armazenamento ou para junto da máquina.

Para a execução do primeiro passo é necessária a observação do trabalho diário da produção. Para ajudar no diagnóstico é importante fazer uma entrevista com os operadores e junto com eles, aplicar a cronometragem nos tempos de troca de ferramentas.

Após analisar a forma que os operadores realizam as trocas de ferramentas e a cronometragem dos tempos, devem-se separar as operações envolvidas ao

processo nas operações internas e externas.

A busca da redução do tempo de *setup* não pode ser alcançada somente no estágio anterior, sendo necessária a melhoria contínua de cada elemento, tanto do *setup* interno como externo. Por isso, passa-se para o segundo estágio que é fazer a análise e transformar o máximo de operações possíveis de operações internas em operações externas, assim é feita a sistematização de procedimentos e será reduzido o tempo de parada de máquina.

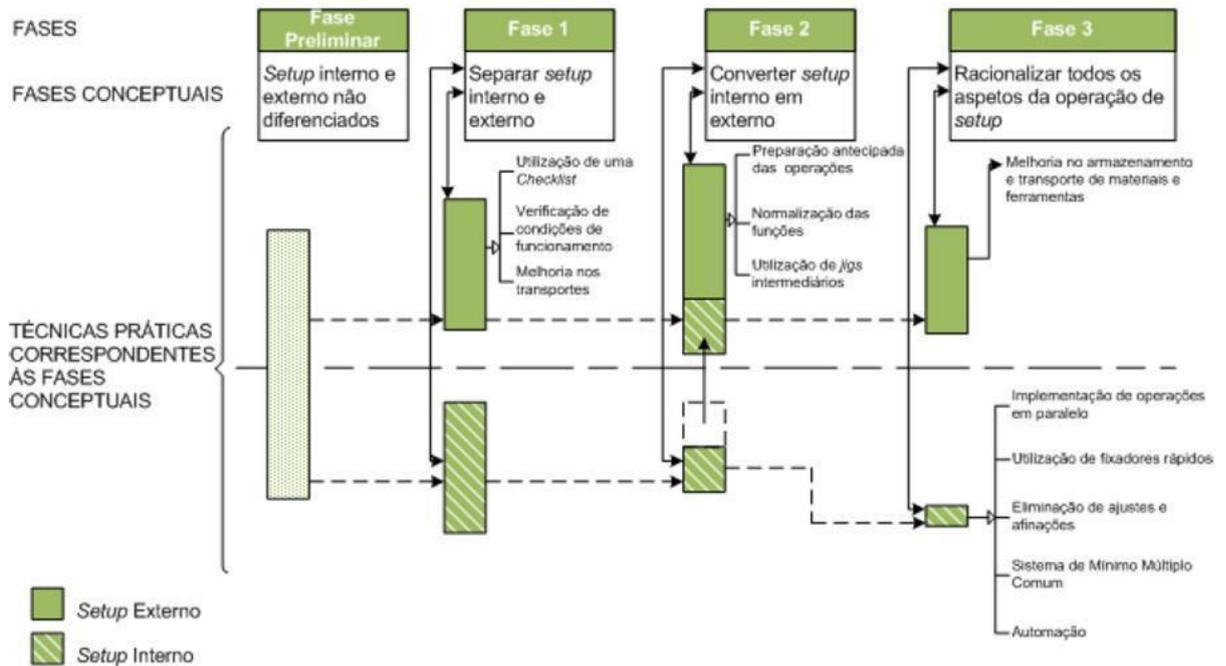
#### **2.5.4 Troca rápida de ferramentas (TRF)**

A abordagem da TRF por meio do SMED (*Single Minute Exchange of Die*) tem como objetivo a redução dos tempos improdutivos gastos na preparação da máquina para a mudança de lote. Aplicando uma metodologia de reflexão progressiva que vai desde a organização do posto de trabalho até a sua automatização, esta técnica distingue as operações de mudança de ferramentas em operações de *setup* interno, que só podem ser realizadas com a máquina parada, (IED – *Input Exchange of Die*), e de *setup* externo, que são realizadas com a máquina em funcionamento (OED – *Output Exchange of Die*). A implementação da técnica TRF requer a realização de três etapas principais: (1) identificar as operações IED e OED; (2) transformar operações IED em OED; e (3) eliminar ou reduzir operações IED e OED (SHINGO, 2000).

Tempo de *setup* é o intervalo de tempo entre a fabricação da última peça conforme de um lote anterior até a fabricação da primeira peça conforme do próximo lote. O conjunto de operações necessárias para a execução dessa tarefa é conhecido como *setup*.

Segundo Shingo (1996) o tempo de *setup* compreende quatro funções: Preparação da matéria-prima, dispositivos de montagem, acessórios, etc. (representam 30% do tempo total de *setup*); Fixação e remoção de matrizes e ferramentas (5% do tempo); Centragem e determinação das dimensões das ferramentas (15% do tempo); Processamentos iniciais e ajustes (50% do tempo). Ainda segundo Shingo (1996), a melhoria de *setup* através da TRF evolui por quatro estágios básicos de forma progressiva ilustrado na figura 25.

Figura 25 -Fases do Setup



Fonte: SHINGO, 1996

**Estagio Preliminar:** Atividades preliminares consistem no levantamento dos tempos e atividades necessários para a realização do *setup* completo, através de cronometragens e filmagens. Além de conversas com os operadores para o entendimento das atividades que estão sendo realizadas.

**Estagio 1:** Separação do *setup* interno (atividades realizadas com a máquina parada) do *setup* externo (atividades realizadas com a máquina funcionando).

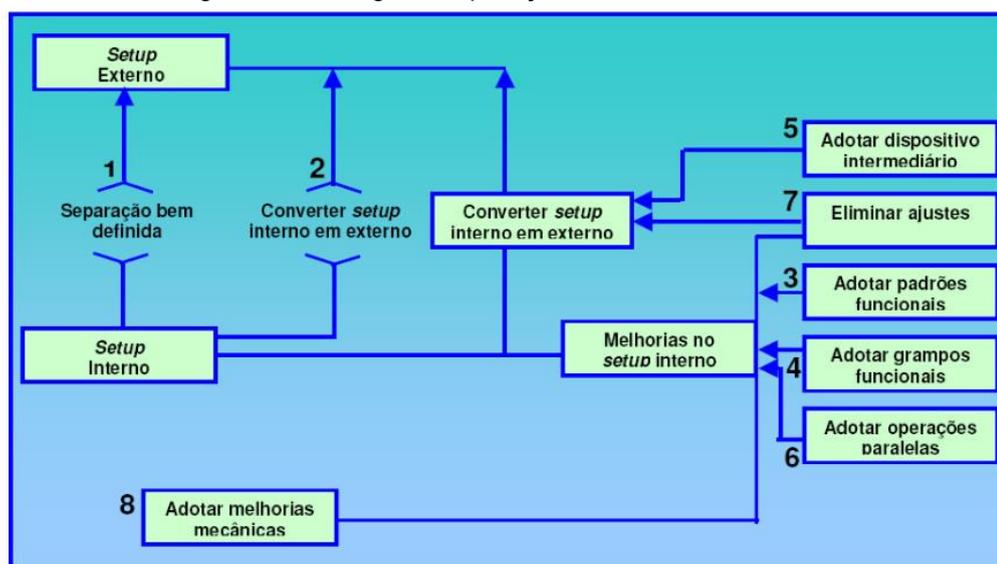
**Estagio 2:** Conversão do *setup* interno em *setup* externo, buscando reavaliar os procedimentos existentes e potencialidade de melhoria, onde as atividades que forem consideradas desnecessárias devem ser eliminadas. Fogliatto e Fagundes (2003) sugerem que seja realizado um projeto estatístico de experimentos para a obtenção de melhores ajustes de equipamentos, Shingo (1996) afirma que se pode reduzir o tempo de *setup* interno de trinta a cinquenta por cento, neste estágio.

**Estagio 3:** Melhoria e padronização das atividades de *setup*, colocando em

praticar as ações definidas na observação e análise contabilizando resultados obtidos, onde se busca a utilização de técnicas alternativas para auxiliar a melhoria da metodologia de *setup*.

Shingo (1996) considera que existem 8 técnicas principais de TRF para reduzir o tempo de *setup*, conforme figura 26.

Figura 26 - Fluxograma aplicação das oito técnicas TRF



Fonte: SHINGO, 1996, p.88

Técnica 1 – Separação de Operações de *Setup* Internas e Externas: identificar as operações que devem ser executadas com a máquina parada (*setup* interno) e quais podem ser executadas com a máquina funcionando (*setup* externo);

Técnica 2 – Converter *Setup* Interno em Externo: padronizar e preparar todas as atividades que podem ser executadas como *setup* externo antes da máquina parar;

Técnica 3 - Padronizar a Função, não a Forma: igualar as dimensões das peças de trocas;

Técnica 4 – Utilizar Grampos Funcionais ou Eliminar os Grampos: peças de fácil encaixe ou de encaixe único;

Técnica 5 – Usar Dispositivos Intermediários: enquanto há operação da máquina o operador prepara a próxima peça a ser fabricada;

Técnica 6 – Adotar Operações Paralelas: entre operadores ou entre operadores e máquinas. Enquanto a máquina automática realiza uma tarefa de setup o operador executa outra tarefa e dois ou mais operadores realizando tarefas diferentes simultaneamente;

Técnica 7 – Eliminar Ajustes: o melhor tipo de ajuste é não existir ajuste, ou seja, tornar desnecessários os ajustes e calibrações para trocas;

Técnica 8 – Mecanização: fazer com que as operações de troca sejam automáticas reduz-se o custo da troca, mas é necessário investimento inicial. A mecanização deve ser realizada após todas as outras técnicas de TRF forem executadas.

Fogliatto e Fagundes (2003) sugerem um complemento a esta metodologia desenvolvida por Shingo, onde são inclusos também, um estágio de eliminação de ajustes, onde o processo deve estar produzindo produtos sem defeitos logo após o período de preparação da máquina. Além disso, devem ser utilizados indicadores de tempo de *setup* (antes e depois da implantação) ou pelo cálculo do lote econômico de produção.

Sugai et. al. (2007) sugerem aspectos que possam vir a ser relevantes nas atividades de *setup*, que não foram levantadas inicialmente por Shingo: Interferência da sequência de peças, perdas durante os períodos de desaceleração e aceleração e questões quanto melhorias em projeto (*design for changeover*).

### 3 METODOLOGIA

Os principais aspectos avaliados para este trabalho acontecer foram: o tempo gasto na furação manual com o eletroimã (sistema utilizado até então) e o tempo gasto após a implantação de um novo equipamento de furação: a máquina Kaltenbach.

O método proposto é um sistema automatizado que possui três cabeçotes de perfuração (dois na horizontal e um na vertical, possibilitando a furação, rosqueamento, escareamento e marcação nas peças que são processadas). Para evitar perda de tempo e redução de setup, o sistema de furação implantado será totalmente automatizado, aumentando a produtividade e reduzindo o tempo de setup do processo e da máquina. A proposta é aperfeiçoar o tempo na máquina e em seu processo, objetivando reduzir o tempo na máquina e processo estudado. Espera-se com o esse trabalho:

- Identificar a restrição do processo;
- Analisar o rendimento do método utilizado na furação manual como também o tempo gasto no processo;
- Analisar a melhoria com a implantação de um novo equipamento de furação para aumentar o nível de produção e os resultados obtidos para empresa com a redução de setup.

#### 3.1 A empresa

Emtec Construções Metálicas Ltda. foi fundada no mês de novembro do ano 2000, com sede na região do noroeste paulista, na cidade de Bady Bassitt, Estado de São Paulo, oferece soluções para projetos, fabricação, pintura e montagem de Estruturas Metálicas para os mais diversos fins. A Emtec conta hoje com 218 funcionários divididos entre produção, montagem e administração.

As atividades comerciais são centralizadas na cidade de São Paulo, contando com uma gerência comercial capacitada para atender as mais diversas necessidades dos clientes, além de contar com o apoio de tecnologia e equipamentos modernos além de um corpo técnico altamente qualificado.

A unidade fabril acompanha as necessidades mercadológicas fortalecendo o

comprometimento da Emtec em inovar com tecnologia e qualidade. No decorrer dos anos, surgiu à necessidade de expansão da metalúrgica e em 2011 a Emtec deu mais um importante passo para seu crescimento, iniciou o projeto de ampliação da fábrica com 8.300m<sup>2</sup> para melhor atendimento dos projetos. A planta produtiva fica em uma área de 18.100m<sup>2</sup> e tem capacidade de produção de 500 toneladas de estruturas metálicas por mês, conforme ilustrado na figura 27.

Figura 27 -Vista panorâmica da unidade fabril – Bady Bassitt



Fonte: Emtec Construções Metálicas

Ao longo dos anos a Emtec vem se aprimorando, no início era uma empresa sem documentos e registros, sem controle de processos e sem muita gestão e análise. A partir de abril de 2012 teve sua certificação na ISO 9001:2008, onde houve toda uma reestruturação, tendo definido todos os departamentos, processos de apoio e documentos necessários, para um sistema de gestão da qualidade, atualmente a qualidade na empresa encontra-se em processo de maturidade e conscientização de seus colaboradores. A busca da melhoria continua através do controle dos processos, objetivos da qualidade (indicadores), a satisfação do cliente interno e externo, prover recursos para qualificação da mão de obra técnica e operacional, controle e análise de não conformidades, diagrama de causas e efeitos (6M) , estrutura organizacional e

fluxo do processo conforme podem ser visto no (anexo A- Organograma e anexo B – fluxo de sequência do processo).

Resumidamente, o processo produtivo das atividades da empresa ocorre da seguinte maneira:

1. A empresa recebe o material (aço) do fabricante;
2. Separação e distribuição das ordens de serviço;
3. Preparação da chaparia, laminados, perfis soldados e acessórios;
4. Montagem e solda das estruturas;
5. Limpeza das peças para inspeção;
6. Inspeção dimensional e visual de solda das peças;
7. Jateamento e pintura das estruturas;
8. Inspeção de pintura;
9. Carregamento e expedição da carga.

### **3.2 A Caracterização da área estudada**

Algumas empresas do ramo metal mecânica, utilizam o eletroimã para fazer as furações nos perfis, chapas e vigas de aço. A grande força de tração do eletroimã permite a execução de furos na horizontal, vertical e até de ponta cabeça (sempre utilizando as brocas anulares, também chamadas de “brocas fresa” ou “brocas copo”).

A furadeira com base magnética possui lubrificação automática, que dosa o óleo na quantidade exata necessária, evitando o desperdício, aumentando a vida útil das brocas e impedindo que a peça que está sendo furada se aqueça o que melhora a qualidade do furo executado, conforme ilustrado na figura 28.

Figura 28 -Eletroimã.



Fonte: Emtec Construções Metálicas

#### Características do Eletroimã:

- Indicado para furações em peças ou estruturas metálicas;
- Tipo de base - Redonda com 165 mm de diâmetro;
- Percurso para furação - 250 mm;
- Força do eletroimã - 1.200 Kgf;
- Com capacidade de furação até 32 mm (1.1/4");
- Potência - 110 W;
- Alimentação - 220 v Monofásico;
- Possui base giratória a 330°;
- Não possui avanço transversal na base

### 3.3 Análise de Causa Raiz

O processo de furação utilizando o eletroimã manual em um perfil HP 310 x 1,25 x 7.700 leva em média de 3 a 4 horas, conforme visto na figura 29.

Figura 29 -Perfil HP 310 X 1,25 X 7.700.



Fonte: Emtec Construções Metálicas

Sequência do Processo:

- Movimentação com a ponte rolante do perfil HP 310 X 1,25 X 7.700;
- Verificar no projeto o diâmetro da furação;
- Marcar o perfil com riscador as medidas do projeto;
- Bater o pulsão nos cruzamentos das medidas, conforme figura 30;

Figura 30 -Pulsão



Fonte: Emtec Construções Metálicas

- Furo guia com broca 8 mm onde serão os furos;
- Selecionar a broca de acordo com o projeto, conforme figura 31;

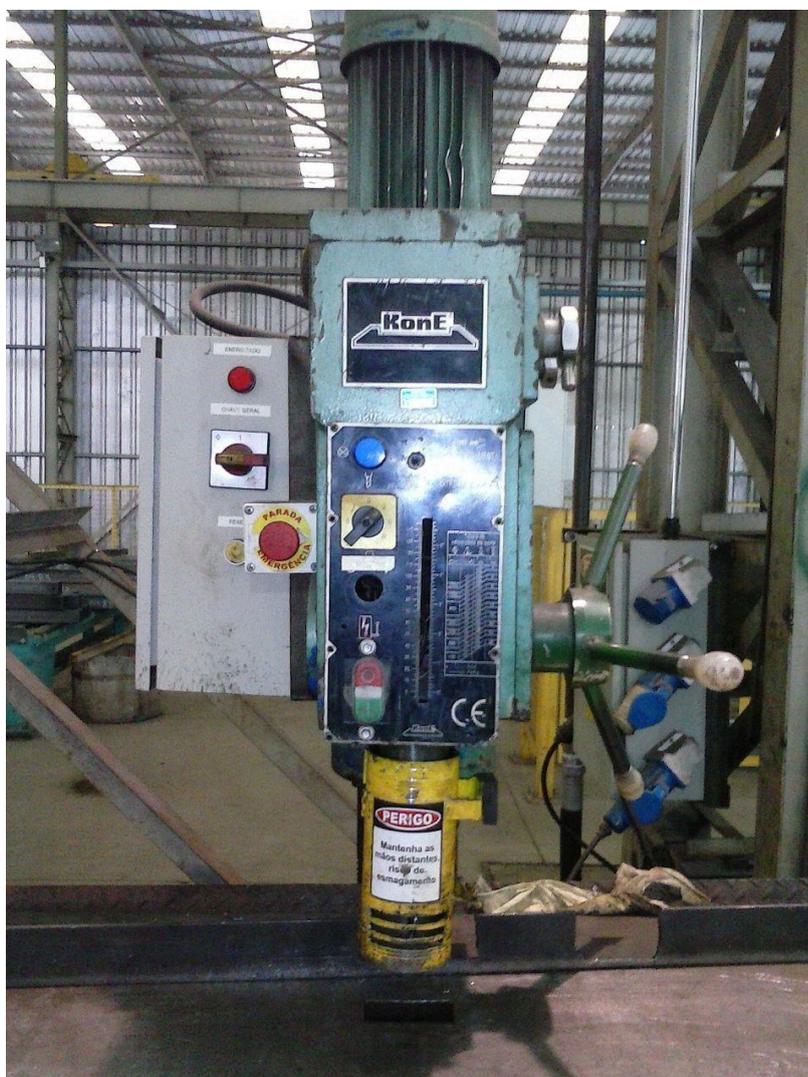
Figura 31 -Brocas com tamanhos variados.



Fonte: Emtec Construções Metálicas

- Passar a broca selecionada conforme o croqui.
- No caso de chapas, os furos são efetuados na furadeira de bancada conforme ilustrado na figura 32.

Figura 32 -Furadeira de bancada Chaparia.



Fonte: Emtec Construções Metálicas

Esse processo de furação necessita de 2 operadores na preparação e leva em média de 3 a 4 horas em cada perfil.

#### 4 RESULTADO

Tendo em vista o problema analisado, o tempo de *setup* gasto em cada etapa do processo na metalúrgica estudada, em conjunto com os engenheiros de projetos, foi implantado uma melhoria para o problema identificado conforme mostrado na figura 33.

Figura 33 -Kaltenbach–Sistema automatizado de furação.



Fonte: Emtec Construções Metálicas

Um equipamento de furação automatizado que possui três cabeçotes de perfuração (dois na horizontal e um na vertical), possibilitando a furação, rosqueamento, escareamento e marcação nas peças em uma só máquina. Os cabeçotes são estacionários, ou seja, quem se movimenta é a peça e tal

movimento é executado através de pinça e mesas de rolete motorizadas. Além disso, para cada cabeçote de perfuração existe um magazine onde se podem armazenar brocas de variados diâmetros, como as outras ferramentas que compõem os processos (macho de roscar, escareador, marcador).

O equipamento implantado na EMTEC Construções Metálicas opera três tipos de processo: tipagem, corte e furação CNC para perfis laminados Açominas, bem como outros tipos de perfil, inclusive chapas. O equipamento trabalha com sistemas interligados onde existe uma sequência nos processos: tipagem, corte e furação.

O processo funciona baseado em programação CNC, entretanto os operadores interferem no processo na questão de alimentação dos perfis na linha. A primeira etapa é o carregamento do *transfer* (transferência) de entrada da linha, conforme ilustrado na figura 34.

Figura 34 -Entrada da Linha.



Fonte: EMTEC Construções Metálicas

Após o carregamento, o operador programa a peça a ser cortada (importando o arquivo CNC para a máquina disponibilizada na rede da Emtec ou executando manualmente), conforme figura 35.

Figura 35 -Operador programando peça para o corte



Fonte: EMTEC Construções Metálicas

A seguir, o processo de tipagem e cortes são iniciados, onde a máquina desliga automaticamente no término do corte, conforme Figura 36.

Figura 36 -Processo de Corte e Tipagem.



Fonte: EMTEC Construções Metálicas.

A serra automática apresenta um *nesting* (padrões) de corte, entretanto devido a algumas limitações na programação deste *nesting* (padrões) tais como: medida mínima no primeiro corte e sobra mínima no final da barra, às vezes programando manualmente consegue-se um aproveitamento melhor no corte do que o do *nesting* (padrões).

Após o corte o operador interfere no processo novamente, posicionando a peça cortada no *transfer* (transferência) intermediário, onde a peça apresenta furos de acordo com o croqui, à mesma entra na furadeira, do contrário ela segue para fora da linha. Para o caso de peças com furação, o operador da furadeira programa a peça a ser furada (importando o arquivo CNC para a máquina ou executando manualmente), dando início ao processo de furação onde a máquina desliga automaticamente após o término das furações.

Na furadeira automática tem um relatório diário de produção, o qual carrega informações do tipo bitola do perfil, comprimento, quantidade, peso e tempo de corte. Este relatório pode ser salvo nos diretórios da rede e ajuda no planejamento de novos serviços.

A programação de furação funciona da seguinte forma:

- O operador importa o arquivo CNC ou executa a programação de uma determinada viga manualmente;
- Quando importa o arquivo ele somente confere se o perfil importado é

realmente o perfil que ele vai furar, bem como as dimensões de posição dos furos ao longo das duas mesas e da alma e o diâmetro das furações a serem executadas;

- Além disso, o operador confere também se as brocas armazenadas nos respectivos magazines, conforme informado ao software da máquina e então aciona o “start”, dando início a operação;
- Quando a programação é manual, o operador informa a máquina qual é a bitola do perfil, quais os diâmetros de cada furo e quais as posições dos furos ao longo das duas mesas e da alma. A seguir, aciona “start” e a operação se inicia.

Lembrando que o operador não faz a regulagem dos parâmetros de corte (rotação, avanço por volta e velocidade de corte) para todas as programações, pois a máquina possui uma biblioteca de parâmetros por diâmetro de broca, ou seja, uma vez selecionado o diâmetro, os parâmetros de corte são automaticamente carregados, conforme figura 37.

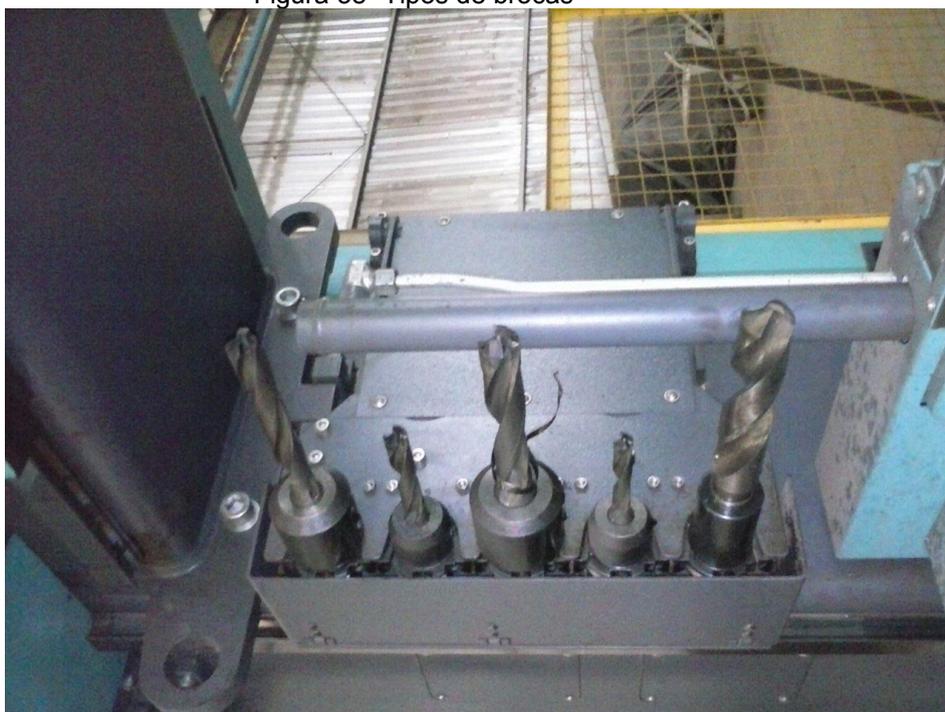
Figura 37 -Programação de Brocas.



Fonte: EMTEC Construções Metálicas

O material das brocas utilizada na furadeira Kantenbach é de metal duro, conforme figura 38.

Figura 38 -Tipos de brocas



.Fonte: EMTEC Construções Metálicas

O ângulo de afiação da broca é de 40° graus. As brocas de metal duro são afiadas somente três vezes. A cada 30 metros de furação são retirados às brocas para afiar. Essa afiação é feita somente pelo fornecedor, pois todas as brocas possuem dois canis internos no seu corpo onde passa óleo para lubrificar a ponta da broca. A furadeira Kantenbach tem sua velocidade de rotação e avanço padronizados. Exemplos:

#### 1. Brocas de metal duro

- Ø14 = avanço 423 mm/min – rotação 1275 RPM
- Ø18 = avanço 346 mm/min – rotação 1295 RPM
- Ø21 = avanço 344 mm/min – rotação 1215 RPM
- Ø27 = avanço 349 mm/min – rotação 945 RPM

#### 2. Brocas de aço rápido

- Ø14 = avanço 136 mm/min – rotação 568 RPM
- Ø18 = avanço 111 mm/min – rotação 442 RPM
- Ø21 = avanço 99 mm/min – rotação 379 RPM
- Ø27 = avanço 92 mm/min – rotação 330 RPM

As brocas de aço rápido são pouco utilizadas na furadeira, pois seu desempenho nem se compara com as de metal duro.

#### **4.1 Quanto tempo leva para furar um perfil HP 310x125?**

O tempo de corte na furadeira varia de acordo com a quantidade de furos que a peça apresenta. Este tempo pode variar entre poucos minutos a horas. Se a peça tiver, por exemplo: 03 (três) furos numa extremidade e mais 03 (três) furos na outra exterminada, o tempo de corte para esta peça não ultrapassará 10 minutos. Porém, para furar uma viga de 12 (doze) metros, com furações espaçadas a cada 100 mm nas duas mesas e na alma, a máquina leva aproximadamente 01 hora e 10 minutos para completar a operação. Pelo tempo que já se trabalha com essa máquina têm-se os seguintes resultados:

- Para um perfil Açominas W150X13 com poucos furos consegue-se produzir na furadeira automática cerca de 5 toneladas por dia (conforme anexo C).
- Já para um perfil Açominas W610X174 com poucos furos consegue-se produzir na furadeira automática cerca de 30 toneladas por dia

Com a implantação da máquina Kantenbach ( sistema automatizado de furacao) pode-se observar os seguintes resultados:

1. Aumento da Produção: houve um aumento em torno de 30% da produção de furação. Com o eletroimã o rendimento de produção era de pelo menos de 01 tonelada por dia para o perfil W150X13 passando para 5 toneladas por dia e no máximo 5 toneladas por dia para o perfil W610X174 passando para 30 toneladas por dia

2. Redução de *setup* – foi reduzido o tempo de produção de furação de 4 horas utilizando 2 operadores para 1h e 10 minutos com a implantação da máquina Kaltenbach, reduzindo assim, o desperdício de tempo com a movimentação dos perfis com a ponte rolante, preparação e a limpeza dos perfis.
3. Melhoria no processo – com o sistema automatizado possibilitou a furação, rosqueamento, escareamento e marcação nas peças em uma só máquina.

## 5 CONCLUSÃO

Ao se abordar aspectos envolvidos na melhoria do processo de furação de maneira a reduzir o tempo de *setup* da máquina foi possível observar uma melhoria no processo e um aumento da produção do processo metalúrgico.

Com o projeto realizado na Emtec Construções Metálicas Ltda. pode-se identificar a restrição do processo, analisar o rendimento do método utilizado na furação manual como também o tempo gasto no processo, foi analisado a melhoria com a implantação de um novo equipamento de furação para aumentar o nível de produção e os resultados obtidos para empresa com a redução de *setup*.

Concluiu-se que com a implantação da máquina Kaltenbach (sistema automatizado de furação) houve um aumento em torno de 30% da produção de furação, redução de *setup* (troca rápida de ferramentas) e melhoria no processo produtivo de furação de perfis soldados

Ao usar esse processo de otimização pode-se focar os esforços nas restrições de um sistema que determinam seu desempenho e assim melhorar significativamente seu desempenho a curto prazo. Para tanto, há a aplicação da teoria das restrições na redução do tempo de Setup pelo método SMED (Single Minute Exchange of Die), método SMED que se baseia nos seguintes passos: diagnosticar possíveis causas dos tempos elevados de parada de máquina e separação do que é operação interna (máquina parada) e operação externa (máquina em produção).

Outra ferramenta importante de *setup* é a abordagem da TRF por meio do SMED (*Single Minute Exchange of Die*) que teve como objetivo a redução dos tempos improdutivos gastos no preparo da máquina para a mudança de lote. Com uso de uma metodologia de reflexão progressiva, com máquina parada (IED – *Input Exchange of Die*), e com máquina em funcionamento (OED – *Output Exchange of Die*), a partir de três etapas principais: (1) identificar as operações IED e OED; (2) transformar operações IED em OED; e (3) eliminar ou reduzir operações IED e OED.

## 6 PALAVRAS CHAVES

1. Metalúrgica;
2. Processo;
3. Máquina;
4. Redução de tempo;
5. Tempo de Preparação.

## 7 REFERÊNCIAS

BARBOSA, Alex Lourenço. **Redução de tempos de setup: aplicação de troca rápida de ferramentas em indústria de bebidas**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais. Faculdade de Engenharia. UNESP - Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá-SP, 2015, p. 45.

BLACK, J.T. **O projeto da fábrica com futuro**, Porto Alegre: Bookman, 1998.

CARDOSO, André de Oliveira (Org). **As faces da indústria metalúrgica no Brasil: uma contribuição à luta sindical**. Confederação Nacional dos Metalúrgicos. São Paulo: DIEESE - Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos, 2015., p. 496.

CORBETT, Thomas. **TOC - Theory of Constraints: Introdução à TOC**. Disponível em: <<http://www.goldratt-toc.com.br/default2.asp?s=pag.asp&site=1&id=2>>. Acesso em 06/09/2019.

**EMTEC CONSTRUÇÕES METÁLICAS**. Disponível em: <<http://emtec.eng.br>>. Acesso em 10/10/2019.

DALOSTO, Diogo Nunes; BALESTRASSI, Pedro Paulo; PERUCHI, Rogério Santana; SILVA, Messias Borges. **Melhoria do processo de uma metalúrgica através de ferramentas lean e simulação de processos**. XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Salvador -BA, 2014, p. 2865-78.

DELGADO, Thiago do Valle; REIS, Augusto da Cunha; REIS, Augusto da Cunha. **Aplicação de métodos visando à redução de setup em um processo de conformação mecânica de tubos de aço**. Sistemas & Gestão, v. 9, 2014, p. 554-564.

FADANELLI, Fernando. **Implementação do IROG em máquinas CNC de uma metalúrgica**. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia de Produção. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul – RS, 2017.

FALCÃO Jr, Carlos. **Introdução aos processos metalúrgicos**. Multitecnus. São Paulo- SP, 2019, p. 34.

FARIAS, Fernanda Rocha; WANDERLEY, Juliana Maria Carneiro; ALMEIDA, Paoline Levy Pereira; ALMEIDA, Sídia Fonseca Almeida. **Diagnóstico das Potencialidades de Melhoria dos Lead Times em uma Metalúrgica**. Anais SEGet – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende- RJ, 2014, p. 15.

FRASCARELI, Fernanda Cortegoso de Oliveira; RODRIGUES, Jose de Souza. **Aplicação de técnicas de redução de tempos de setup para aumento de produtividade em uma indústria metal-mecânica**. XXXIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador- BA, 2013, p. 16.

FOGLIATTO Flávio S.; FAGUNDES Paulo Ricardo M. **Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso.** *Gestão & Produção*. Vol.10, ed.2, São Carlos Aug. 2003

GOLDRATT, Eliyahu. **A Meta**, São Paulo: Educator, 1994.

HERNANDES, Fernando Sidinei. **Implementação da proposta para otimização do setup em um centro de usinagem.** Trabalho Final de Curso de Engenharia de Produção. FAHO - Faculdade Horizontina. Horizontina- RS, 2015, p. 52.

JUNQUEIRA, Luíz. **Resumo do Livro - A META.** Disponível em: <<http://leanconstruction.wordpress.com/2008/09/30>>. Acesso em 06/09/2019.

LOPES, Jorge Teófilo de Barros. **Tecnologia Metalúrgica.** Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Belém- PA, 2020, p. 51.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem.** Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Belo Horizonte – MG, 2012, p. 209.

MORAIS, Leonidas Magno de. **Avaliação de desperdícios no ambiente operário de uma empresa metalúrgica.** Dissertação Mestrado. Engenharia Mecânica. Universidade de Taubaté. Taubaté – SP, 2010, p. 87.

PAIVA, Adriana de Almeida; AMARAL, Henriclei Vieira; BARBOSA, Marcus Vinícius; LUCAS, Giovana Azevedo Pampanelli; COUTINHO, Rhanica Evelise Toledo. **Análise de tempos de setup no processo produtivo de embalagens metálicas.** Anais SEGet – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende- RJ, 2014, p. 16.

PEREIRA, Sidnei. **Melhoria da produtividade do processo de usinagem de uniões em ferro fundido maleável preto: um estudo de caso.** Dissertação Pós-Graduação Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2007, p. 118.

PIMENTEL, Ricardo. **Melhoria do processo de furação de ferro fundido cinzento com brocas helicoidais de metal-duro.** Dissertação Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis -SC, 2014, p. 161.

SANTOS, Jaqueline da Silva; OLIVEIRA, Thais Onofre de; COTRIM, Syntia Lemos; LEAL, Gislaine Camila Lapasini; GALDAMEZ, Edwin Vladimir Cardoza. **Análise dos desperdícios no processo produtivo de uma metalúrgica através do mapeamento de fluxo de valor.** *Qualitas Revista Eletrônica*, v. 18, n. 2, 2017, p. 48-67.

**SMT**, Paraná: PUCPR Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.

SHINGO, Shigeo. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta**. São Paulo: Bookman, 1996.

SHINGO, Shigeo. **Sistema de troca rápida de ferramentas: uma evolução nos sistemas produtivos**. 2a ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

SHINGO, Shigeo. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta**. São Paulo: Bookman, 2003.

SOUZA, Elcimar Corrêa de. **Redução do custo e ganho financeiro com a diminuição do tempo de setup: estudo de caso em injetoras de 800 toneladas**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém - PA, 2016, p. 80.

SUGAI, Miguel, **Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso**, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n2/09.pdf>>. Acesso em 06/09/2019.

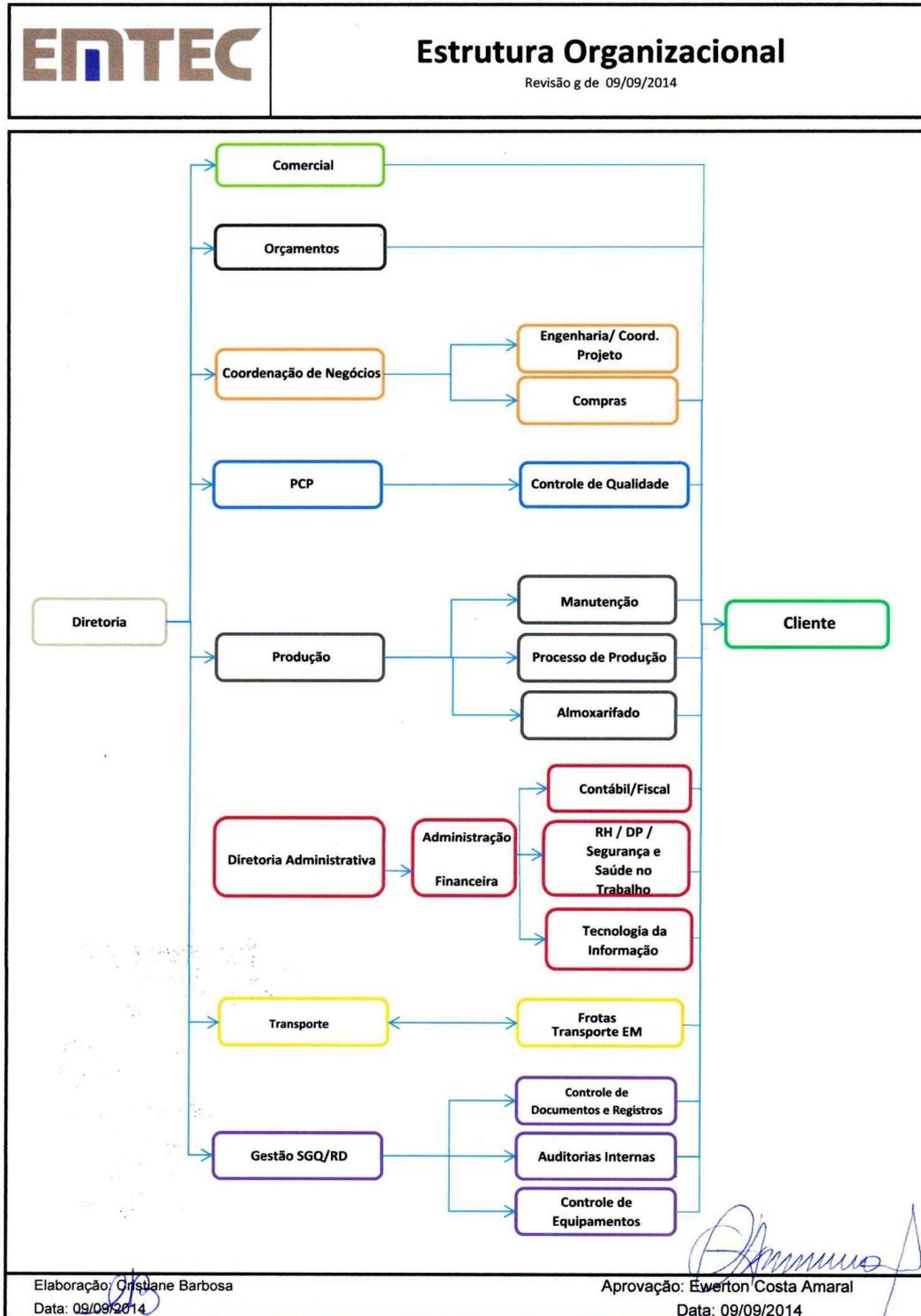
TAYLOR, Frederick. **Princípios da Administração Científica**. Disponível em <<http://www.sobreadministracao.com/historia-e-evolucao-da-administracao>>. Acesso em 06/09/2019.

TECCHIO, Marieli; ANSCHAU, Cleusa Teresinha; SCHNEIDER, Andresa. **Processo produtivo de máquinas frigoríficas**. Anais – Engenharia de Produção, v. 2, n. 1, 2018, p. 15.

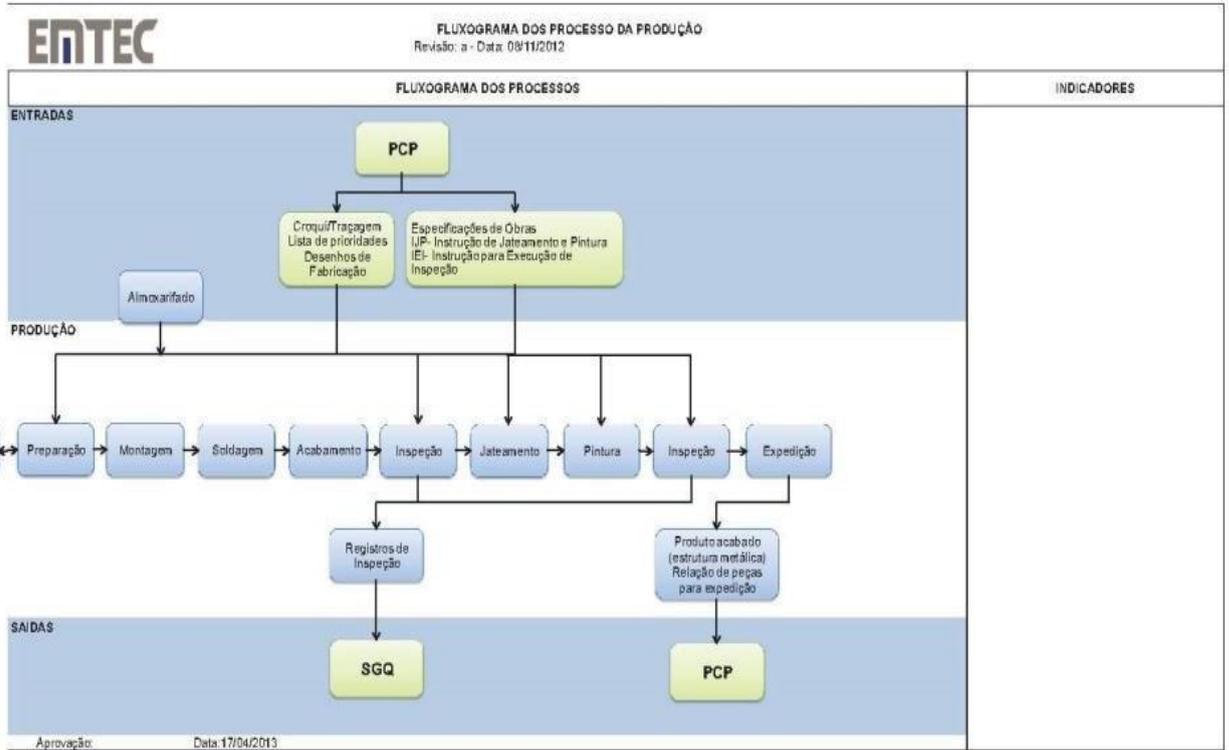
WANKE, Peter. **Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimento**, Rio de Janeiro, Atlas, 2008.

8 ANEXOS

Anexo A



Anexo B



Anexo C

