

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC na FELINO, S.A.

José Eduardo Gomes Araújo

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Eng.º Eduardo Gil da Costa

Orientador na FELINO, S.A.: Eng.º Domingos Sousa



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Janeiro de 2012

*Aos meus pais,
E à minha Soraia*

Resumo

Os tempos e os custos de preparação de trabalho, quando estão envolvidas máquinas CNC, não podem ser demasiado elevados tendo em vista a necessidade de rentabilizar ao máximo este tipo de equipamentos. No entanto, nas empresas que se caracterizam pelo fabrico de grandes séries, estes custos têm um peso consideravelmente menor, dado que são compensados pelo tempo elevado da maquinação. Ao invés, no fabrico de séries pequenas e médias, como no caso em estudo, o tempo de preparação deverá ser reduzido ao máximo, através da otimização das várias etapas que compõem o processo. Para tal, é necessário um bom conhecimento dos tempos de preparação na empresa, para que se possa perceber onde e com que meios atuar. Deste modo, a mudança de paradigmas, para possibilitar uma cultura de interação entre as pessoas e de adaptação a novos métodos de trabalho, assume-se como um fator crucial para se obterem os resultados pretendidos.

Este trabalho, realizado em pleno chão de fábrica, foi desenvolvido para se encontrarem soluções capazes de contrariar os tempos elevados de preparação das máquinas CNC existentes, através da implementação de duas metodologias baseadas nas filosofias *Lean* e *Kaizen*. Após uma fase de revisão de conceitos gerais da tecnologia CNC e de ambientação ao trabalho no setor, e depois de detetados os primeiros problemas, foi aplicado o Programa 5S nos postos de trabalho, de forma a estarem criadas as condições ideais para a elaboração de regras e procedimentos para o trabalho do operador, com base na aplicação da metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*).

Com a implementação das soluções propostas, estão criadas as bases para a elaboração de indicadores que permitam, no futuro, a prática de ações constantes de melhoria no processo produtivo da empresa.

Systematic Procedures for Preparation and Organization of CNC Machines

Abstract

Set up times and costs, whenever CNC machines are involved, have to be adequate in order to approach the need for maximum profitability of these kind of equipments. However, in companies characterized by long production batches, set up costs are considered less important when counterbalanced by high machining times. On the another hand, in medium and small production batches, set up times must be reduced to its minimum possible, optimizing all process stages. For such achievement, it is required a great amount of set up time knowledge within the company. Only then it will be possible to take action in the right direction. Another crucial factor, in order to obtain the intended results, is the changing of paradigms, allowing a growing feedback between workers and a strong ability to adapt to new work methods.

This project was developed at the factory floor in order to find working solutions able to reduce high set up times of CNC machines, by implementing *Lean* and *Kaizen* based methodologies. After an observation and theoretical CNC study stage in a specific sector, the most relevant issues were identified and a 5S Program took place. The goal of the 5S Program is to create ideal work conditions for the establishment of a set of rules and procedures following the SMED methodology (*Single Minute Exchange of Die*).

In this way, by implementing the proposed solutions, the foundations for the formulation of instructions for good practice are created, improving the productive process of the company in the near future.

Agradecimentos

À Felino S.A. e ao Eng.º Manuel Braga Lino, pela oportunidade proporcionada, e pelo incentivo e confiança depositados ao longo de todo o projeto.

Ao Eng.º Domingos Sousa, meu orientador na empresa, pela disponibilidade, apoio e partilha de conhecimentos que em muito contribuíram para a realização deste projeto.

Ao Eng.º Eduardo Gil da Costa, da FEUP, que me orientou ao longo de todo o projeto, pela sua disponibilidade e pelos conselhos essenciais.

Ao Sr. Pimenta e ao David, pelo apoio e pelos esclarecimentos prestados diariamente.

À Eng.ª Joana Espincho, pelo companheirismo e ajuda na integração.

Ao Eng.º Vasco Jorge, pela troca de ideias sempre enriquecedora.

À equipa de operadores do setor CNC, pela colaboração.

“Um lugar para tudo, e tudo no seu lugar.”

Benjamin Franklin (1706 – 1790)

Índice de Conteúdos

1. Introdução	1
1.1.A FELINO S.A.	1
1.1.1. Breve História	1
1.1.2. Instalações.....	1
1.1.3. Produtos	2
1.2. Objetivo do Projeto.....	3
1.3. Estrutura do Relatório	3
2. Da Máquina-Ferramenta Convencional ao CNC	5
2.1. O que é o Comando Numérico Computorizado	5
2.2. Principais Vantagens do CNC.....	6
2.3. Etapas da elaboração de uma peça em CNC	6
3. Fundamentação Teórica	9
3.1. A Solução <i>Lean</i>	9
3.1.1. Os Conceitos	9
3.1.2. Os 7 Desperdícios.....	11
3.1.3. Os 5 Princípios do <i>Lean Thinking</i>	12
3.2. Gemba <i>KAIZEN</i>	13
3.3. Metodologias <i>KAIZEN</i> para a Melhoria Contínua	15
3.3.1.A Organização do Local de Trabalho – O Programa 5 S.....	15
3.3.2.O Controlo Visual	16
3.3.3.A Redução do Tempo de Setup – O SMED	17
3.4. Ferramentas da Qualidade.....	19
4. Descrição do Processo no Setor de Maquinação CNC	21
4.1. A Preparação das Máquinas CNC	21
4.2. Ferramentas e Acessórios.....	22
4.2.1. Ferramentas de Posicionamento e Sistemas de Troca de Mesa de Trabalho Automática	22
4.2.2.Ferramentas de Corte	23
4.2.3.Sistemas de Troca Automática de Ferramentas de Corte.....	24
4.3. Indicadores de Desempenho.....	24

4.4. O Processo de <i>Setup</i>	26
4.4.1. Fases do <i>Setup</i> das Máquinas CNC	26
4.4.2. <i>Setup</i> Externo e <i>Setup</i> Interno	30
4.5. Identificação de Problemas no Processo de <i>Setup</i> e suas Causas.....	30
4.6. Análise dos Tempos de <i>Setup</i> Medidos	40
4.6.1. Afetação dos Problemas Observados aos <i>Setups</i> Analisados	41
4.6.2. Análise de Custos.....	43
5. Soluções Propostas	45
5.1. Soluções no Âmbito da Metodologia 5S	45
5.2. Soluções no Âmbito da Metodologia SMED.....	49
5.2.1. Solução <i>Pré-SMED</i>	49
5.2.2. Implementação do SMED	53
5.2.3. Soluções <i>Pós-SMED</i>	55
5.3. Soluções no Âmbito do Controlo Visual	58
5.4. Resultados Esperados Após Implementações	59
6. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros.....	61
Referências	65
ANEXO A: Equipamentos e suas Dimensões	69
ANEXO B: Gráfico de Eficiência das Máquinas CNC.....	71
ANEXO C: Gráficos de Percentagem das Fases do <i>Setup</i>	73
ANEXO D: Diagrama de Circulação.....	75

Índice de Figuras

Figura 1 – <i>Unidade de Ermesinde</i>	2
Figura 2 – <i>Unidade de Sobrado</i>	2
Figura 3 – <i>Peças em alumínio</i>	3
Figura 4 – <i>Peças em ferro fundido</i>	3
Figura 5 – <i>Amassadeira de garfo</i>	3
Figura 6 – <i>Comparação dos tempos empregues numa máquina-ferramenta convencional e num centro de maquinação</i>	6
Figura 7 – <i>7 Desperdícios</i>	11
Figura 8 – <i>Ciclo PDCA</i>	14
Figura 9 - <i>Constituição básica do setup</i>	17
Figura 10 – <i>Exemplo de apertos funcionais</i>	18
Figura 11 – <i>a) Histograma; b) Gráfico circular</i>	20
Figura 12 – <i>Diagrama causa-efeito</i>	20
Figura 13 – <i>Vista geral setor CNC</i>	21
Figura 14 - <i>Vista interior do centro de maquinagem Mitsui Seiki H6C</i>	22
Figura 15 – <i>Interior do torno Mori Seiki; a) Bucha; b) Torreta</i>	23
Figura 16 – <i>Carrossel e braço automático de troca de ferramentas do centro Mitsui H6C</i> ..	24
Figura 17 – <i>Janela de tempos de utilização do centro Mazak</i>	25
Figura 18 – <i>Janela de tempos de utilização do torno Mori Seiki (2)</i>	25
Figura 19 – <i>Limpeza da ferramenta de posicionamento anterior</i>	26
Figura 20 – <i>Abertura de nova operação</i>	26
Figura 21 – <i>Posicionamento da peça na ferramenta</i>	27
Figura 22 – <i>Montagem da nova ferramenta de posicionamento</i>	27
Figura 23 – <i>Aperto da peça na ferramenta</i>	27
Figura 24 – <i>Verificação das ferramentas disponíveis no magazine</i>	28
Figura 25 – <i>Introdução dos parâmetros no controlo da máquina</i>	28
Figura 26 – <i>Execução do zero-peça</i>	29
Figura 27 – <i>Constituição do setup das máquinas CNC</i>	30
Figura 28 – <i>Diagrama de causa-efeito para os tempos de setup elevados</i>	31
Figura 29 – <i>Exemplo de desarrumação numa mesa de apoio ao trabalho</i>	32
Figura 30 – <i>Exemplo de bancada desarrumada</i>	32

Figura 31 – Ferramentas espalhadas numa bancada	32
Figura 32 – Ferramentas de posicionamento deixadas no chão	33
Figura 33 – Estantes das ferramentas de posicionamento	33
Figura 34 – Exemplo de ferramenta de posicionamento de fixação permanente	33
Figura 35 – Exemplo de ferramenta de posicionamento de fixação modular	33
Figura 36 – Disposição atual das ferramentas de corte	34
Figura 37 – Armário das pastilhas de corte	34
Figura 38 – Disposição atual das pastilhas no armário	34
Figura 39 – Exemplo de desarrumação na gaveta de uma bancada	35
Figura 40 – Presetter de ferramentas de corte	35
Figura 41 – Instrumentos de medição deixados ao acaso junto da máquina.....	36
Figura 42 – Instrumentos de medição deixados ao acaso numa mesa de apoio	36
Figura 43 – Dossier de uma máquina	36
Figura 44 – Exemplo de documentação em uso.....	37
Figura 45 – Programa CNC escrito em papel	37
Figura 46 – Boletins de tempo com e sem programa	38
Figura 47 – Estado de conservação das etiquetas de identificação das disquetes.....	38
Figura 48 – Disposição atual das disquetes de armazenamento dos programas dos tornos..	38
Figura 49 – Lista de programas no painel de controlo do centro Mazak	39
Figura 50 – Vista parcial do formulário de análise de setup elaborado	41
Figura 51 – Implementação do 1º passo 5S nos armários e mesas de apoio	46
Figura 52 – Bancada antes e após a implementação do 1º passo 5S	47
Figura 53 – Identificação atual das estantes das ferramentas de posicionamento	47
Figura 54 – Disposição das ferramentas de posicionamento na estante	48
Figura 55 – Disposição das ferramentas de posicionamento numa palete	48
Figura 56 – Ferramentas de posicionamento após implementação do 1º passo 5S.....	48
Figura 57 – Lista de tarefas a realizar atualmente pelo operador	49
Figura 58 – Tarefas a distribuir pelo preparador de trabalho.....	51
Figura 59 – Ferramentas de posicionamento colocadas no chão	52
Figura 60 – Falta de marcações no chão para colocação dos lotes	53
Figura 61 – Tempo afeto às tarefas de posicionamento, ajuste e afinação da Peça B.....	55
Figura 62 – Tempo afeto às tarefas de posicionamento, ajuste e afinação da Peça B.....	56
Figura 63 – Ferramenta de posicionamento de uma das peças da nova amassadeira	56

Figura 64 – a) Armário que serve de apoio ao presetter; b) Armário atualmente utilizado .. 57

Figura 65 – Armários sugeridos para eventual aquisição 58

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Atividades executadas pelo operador para a execução da Peça A 29

Tabela 2 – Custo dos setups medidos..... 43

Tabela 3 – Implementação da solução pré-SMED no setup da Peça A..... 53

Tabela 4 – Implementação da solução pré-SMED no setup da Peça B..... 54

Tabela 5 – Resultados obtidos após implementação da solução pré-SMED nas restantes peças..... 55

Tabela 6 – Evolução da redução do setup da Peça A..... 56

Tabela 7 – Redução de custos..... 60

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Tempos de setup medidos..... 40

Gráfico 2 – Percentagem das fases que compõem o setup..... 41

Gráfico 3 – Redução de tempos esperada após implementação das soluções 59

Gráfico 4 – Ganhos após implementação das soluções..... 59

1. Introdução

1.1. A FELINO S.A.



A Felino tem sede em Ermesinde, concelho de Valongo, a 10 km a norte da cidade do Porto, a 15 km do Porto de Leixões e a 10 km do Aeroporto Internacional Francisco Sá Carneiro, e está vocacionada para a construção de máquinas e instalações de padaria e pastelaria, disponibilizando ainda aos seus clientes serviços de subcontratação nos setores da metalurgia e metalomecânica (peças fundidas em bruto e/ou maquinadas).

1.1.1. Breve História

A Felino teve a sua origem em 1932, pela mão de Manuel Ferreira Lino, que juntamente com um irmão montou uma pequena oficina de serralharia e fundição, onde se produzia todo o tipo de artigos metálicos. Volvidos quatro anos, viria a ser constituída a Sociedade Ferreira Lino & Irmão, depois de um terceiro irmão que tinha uma padaria ter lançado a ideia de se fabricar a primeira amassadeira para o ajudar na atividade da panificação. Manuel Ferreira Lino viu então aqui uma boa oportunidade de negócio. Em 1964, com o objetivo de expandir a empresa, Laurindo Ferreira Lino e seus filhos Manuel Augusto Braga Lino e Frederico Octávio Braga Lino, deram início a uma total remodelação das instalações e equipamentos. Em 1988, a empresa transformou-se em sociedade anónima, com a designação de Felino – Fundição e Construções Mecânicas S.A., sendo atualmente administrada por Manuel Augusto Ferreira Braga Lino, Susana Maria Ferreira Braga Lino Antunes Viana e Luís Manuel Monteiro Santos Guerra.

Certificada segundo a norma ISO 9001:2008, a Felino encontra-se consolidada no mercado nacional, empregando atualmente cerca de 130 trabalhadores, e tem-se expandido a nível internacional, como se comprova pelo número de clientes distribuídos por mais de 40 países em 4 continentes, tais como Espanha, França, Alemanha, Argentina, EUA, Angola, África do Sul e Japão.

1.1.2. Instalações

A Sede Social da Felino encontra-se localizada em Ermesinde, tal como a unidade de Construções Mecânicas e a Fundição de Alumínio (Figura 1), ocupando uma área de 14000 m². Em Sobrado, também concelho de Valongo e a 10 km da Sede, encontra-se a divisão da Fundição de Ferro (Figura 2), em funcionamento desde 1994, ocupando uma área de 6000 m².



Figura 1 – Unidade de Ermesinde



Figura 2 – Unidade de Sobrado

Na Fundição de Ferro são produzidas peças em ferro fundido cinzento e nodular. Os processos produtivos desta unidade seguem uma linha de moldação em areia verde, auto-secativa e manual, podendo as peças ser, posteriormente, sujeitas a operações de pintura ou tratamento térmico.

Na Fundição de Alumínio, através de processos moldação por areia ou coquilha, são produzidas peças em diversas ligas, podendo também ser fornecidas com tratamento térmico. Também nesta unidade, o grau de automatização conta com fatores como o peso e dimensão das séries, tendo sempre em vista o menor custo de produção. A unidade dispõe ainda de um equipamento de impregnação destinado a eliminar micro-porosidades internas.

Na unidade de Construções Mecânicas são executados serviços de maquinação em peças, fundidas na Felino ou fornecidas pelo Cliente, parte das quais são destinadas a produtos Felino, tais como equipamentos de panificação e pastelaria.

A unidade apresenta um *layout* por processos e comporta as seguintes áreas: armazenamento de materiais, corte dos materiais, armazenamento de chapas, produtos acabados e produtos em curso, zona de depósito de ferramentas, receção de produtos comprados, armazém de acessórios, setores de maquinação convencional e CNC, soldadura, eletrificação, construção e pintura, e gabinetes de métodos, qualidade, projeto, planeamento e comercial.

1.1.3. Produtos

As principais matérias-primas do setor de construções mecânicas são peças em ferro fundido, ligas de alumínio e outras ligas, que podem variar no peso e na forma, estando as suas dimensões limitadas ao atravancamento dos equipamentos existentes. Na figura 3 podemos ver peças em alumínio e na figura 4, peças em ferro fundido.

Relativamente aos equipamentos de panificação e pastelaria, a Felino fornece uma linha muito variada de produtos que inclui amassadeira espiral e amassadeira de garfo (Figura 5), batedeira, divisora/enroladora, laminadora de massas e ralador de pão. A Felino possui ainda como produto próprio uma linha de redutores de velocidade, dos tipos sem-fim e coroa, e engrenagens.



Figura 3 – Peças em alumínio



Figura 4 – Peças em ferro fundido



Figura 5 – Amassadeira de garfo

1.2. Objetivo do Projeto

O objetivo deste projeto consiste em aumentar em 50% a eficiência do sistema produtivo, através da introdução de melhorias na organização dos postos de trabalho e da diminuição dos tempos de *setup*.

O projeto desenrolar-se-á na área de CNC, que foi apontada pela empresa como área crítica do processo, desde que em Dezembro de 2008 foi feita a transição para a norma ISO 9001:2008 e foi dado maior ênfase à prevenção de problemas e à melhoria contínua.

1.3. Estrutura do Relatório

Este relatório encontra-se dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo é feita a apresentação da empresa, é apresentado o projeto e é descrita a forma como o presente relatório se encontra estruturado.

No capítulo 2 é feita uma breve introdução ao CNC, sendo destacadas vantagens e etapas da preparação do trabalho.

O capítulo 3 possui um cariz teórico, englobando os conceitos e metodologias pesquisadas e estudadas, que podem vir a ser solução para os problemas detetados.

O capítulo 4 apresenta uma descrição do processo no local de trabalho, com uma análise detalhada dos problemas detetados.

No capítulo 5 são apresentadas as propostas de melhoria e os resultados esperados na sequência da sua aplicação.

Por último, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido e são sugeridos trabalhos a desenvolver no futuro.

2. Da Máquina-Ferramenta Convencional ao CNC

Ao longo do último meio século tem-se assistido a uma procura de soluções para o aumento da produtividade nos processos de fabrico, nomeadamente naqueles ligados à maquinação por corte de aparas. Desde a máquina-ferramenta convencional, totalmente dependente do operador, até ao quase dispensar da intervenção humana no Controlo Numérico Computorizado (CNC), muitas soluções surgiram (por exemplo, a evolução do torno universal, que passou por torno revólver, torno copiador e torno automático), mas apenas o CNC garantiu flexibilidade na operação de peças com diferentes configurações e em lotes reduzidos.

As ferramentas de corte também evoluíram, desde as de metal duro e aço rápido, até às mais recentes, incorporando insertos cerâmicos. Assim, a maquinação de peças passou a poder responder a novas condições de corte e precisão, impostas por projetos mais arrojados e complexos.

2.1. O que é o Comando Numérico Computorizado

O CNC é utilizado em múltiplas aplicações, nomeadamente as que envolvem máquinas-ferramenta, tais como tornos, fresadoras, centros de maquinação ou máquinas de electroerosão, mas também pode ser utilizado fora deste âmbito, em aplicações como linhas de montagem, manipulação de materiais, inspeção e medida.

No seu livro “*Controlo Numérico Computorizado – Conceitos Fundamentais*”, Carlos Relvas define o CNC como “todo o dispositivo capaz de dirigir os movimentos de posicionamento de um órgão mecânico, em que os comandos relativos a esse movimento são elaborados de forma totalmente automática a partir de informações numéricas ou alfa-numéricas definidas manualmente ou através de um programa”. Já Completo et al. (2009) na sua definição destaca a não intervenção direta do operador durante o funcionamento da máquina a partir de um programa.

Para Relvas (2000), são quatro as variáveis fundamentais que incidem nas características de um processo automatizado: produtividade, precisão, rapidez e flexibilidade. São estas variáveis que permitem escolher o automatismo mais adequado, consoante o número de peças a produzir. Segundo este autor, o CNC assume relevância se as séries a fabricar estiverem compreendidas entre 5 e 1000 peças, dada a importância de fatores como a precisão e o tempo de fabricação. A utilização desta tecnologia em séries pequenas só se torna rentável na fabricação de peças de grande complexidade, e quando se pode efetuar a sua programação com a ajuda de um computador.

Segundo Completo et al. (2009) com a ajuda dos métodos de programação atualmente existentes e com a redução dos tempos improdutivos, como a troca de ferramentas e a troca da mesa de trabalho, esta solução é, atualmente, capaz de concorrer com as máquinas convencionais relativamente a qualquer quantidade de peças a fabricar, como pode ser comprovado pelos gráficos da figura 6.

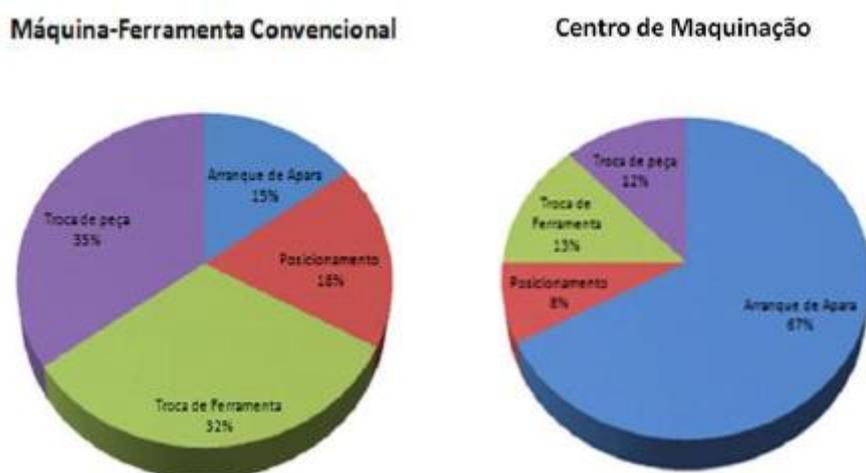


Figura 6 – Comparação dos tempos empregues numa máquina-ferramenta convencional e num centro de maquinação (Fonte: Completo et al., 2009, p.28)

2.2. Principais Vantagens do CNC

Das vantagens apresentadas por Relvas (2000), destacam-se as seguintes:

- Aumento da produtividade, devido principalmente à diminuição do tempo total de maquinação que se deve, por exemplo, à diminuição dos tempos de deslocamentos das ferramentas no vazio;
- Flexibilidade, porque uma máquina CNC é capaz de realizar um maior número de operações comparando com a capacidade de uma convencional;
- Precisão, que se deve ao maior desenvolvimento tecnológico que os mecanismos destas máquinas apresentam.

Completo et al. (2009) acrescenta, entre outras:

- Atenuação do fator humano, adicionando a repetitividade e uma grande precisão de execução, o que permite a redução de controlos;
- Integração de equipamentos periféricos tais como: eixos rotativos automáticos, sistemas de aperto de peça automáticos e medição integrada.

2.3. Etapas da elaboração de uma peça em CNC

O Controlo Numérico Computorizado trouxe vantagens como velocidade, repetitividade, precisão e flexibilidade. Contudo, estas vantagens só se fazem notar após a saída da primeira peça. Isto porque o tempo necessário para se obter uma única peça através desta tecnologia pode ser longo, chegando mesmo a ser superior ao das máquinas convencionais.

As principais etapas de elaboração de uma peça em CNC são (Adaptado de Filho, 2011):

1. Desenho da Peça

Tal como na maquinação convencional, o desenho da peça quando recebido, deve ser estudado. Características como forma, material, tolerâncias, estados de superfície, devem ser devidamente interpretadas e compreendidas.

2. Sistema CAD

O desenho neste formato é o ideal para quem trabalha em CNC. Grande parte das coordenadas necessárias à programação está subentendida nos desenhos cotados na forma padronizada, principalmente no caso de peças complexas. Aqui é dado o ponto de referência que será utilizado no programa (*zero-peça*), que tem como coordenadas $X=0$ e $Y=0$. Através do CAD, a obtenção de coordenadas e de outro tipo de dados de maquinação ocorre de forma rápida e precisa.

3. Planeamento da Maquinação

O planeamento envolve a definição de parâmetros como a fixação da peça na máquina, a sequência de maquinação, e a seleção das ferramentas e condições de corte, tais como velocidade de corte e de avanço, rotação da ferramenta, profundidade de corte, número de passagens, etc. É uma etapa fundamental na maquinação.

4. Obtenção de Coordenadas

Depois de ficar conhecida a fixação da peça e o processo, é possível através do sistema CAD fazer o levantamento das coordenadas mais importantes para programação. Pontos de entrada e saída da ferramenta e possíveis colisões com a peça e ferramenta de posicionamento devem ser previstos de forma a serem evitados atempadamente.

5. Redação e Digitação do Programa na Máquina

Obtidas as coordenadas e estando definida a sequência de maquinação, o programa é escrito e introduzido na máquina. O uso de comentários, facilitando possíveis correções que possam vir a ser necessárias, e o uso de sub-rotinas deve ser aplicado de forma a melhorar a interpretação visual do programa e serem mais facilmente detetados eventuais problemas. O programa pode ainda diminuir a sua complexidade se forem explorados os recursos que a máquina disponibiliza, tais como ciclos de furação, ciclos de desbaste interno, entre outros. A transmissão do programa para a máquina é feita, idealmente, através de um software próprio.

6. Montagem da Ferramenta de Posicionamento e Colocação da Peça

Antes da montagem da ferramenta de posicionamento, procede-se a uma limpeza da mesa de trabalho da máquina e da própria ferramenta. Esta deve ser fixada atendendo sempre a um paralelismo com os eixos da máquina, e para isso utiliza-se um relógio-comparador manual ou automático para medição. Depois de colocada e apertada a peça, vão ser preparadas as ferramentas de corte, que depois de medidas são colocadas no armazém de ferramentas da máquina (também referido como *magazine* de ferramentas).

7. Introdução de Parâmetros de Fixação e das Ferramentas de Corte

Devem ser introduzidas no programa as características que definem as ferramentas de corte e de posicionamento. Para a ferramenta de posicionamento deve ser feito o *zero-peça*, onde são dadas as coordenadas X e Y que foram utilizadas como referência na

programação. Para cada ferramenta de corte deve ser feito o *offset*, isto é, deve ser introduzido o diâmetro, comprimento e posição que ocupa no magazine.

8. Simulação Gráfica

A simulação gráfica permite detetar eventuais erros no programa, que podem pôr em risco todo o trabalho, assim como as próprias ferramentas e blindagens da máquina.

9. Afição da Maquinação

A primeira peça é maquinada. A sua execução é efetuada passo-a-passo, ou seja, cada linha do programa só é executada após o operador autorizar. Esta etapa permite verificar detalhes não previstos na redação do programa e não visualizados na simulação. Pode ser regulada a velocidade de movimentação, o fluído refrigerante pode ser desligado para permitir melhor visualização, e o programa pode ser parado para o posicionamento da peça ser reajustado.

3. Fundamentação Teórica

3.1. A Solução *Lean*

“*Como fazer para aumentar a produtividade num contexto de fraco crescimento, em que os volumes não aumentam e em que a diversificação se acelera?*” (Taichi Ohno)

No início dos anos 50, após a 2ª Guerra Mundial, Taichi Ohno, engenheiro mecânico, diretor da Toyota, procurava uma solução e lançava o desafio. Agastado pela crise pós-guerra, o Japão apresentava uma economia moribunda, e as empresas da indústria automóvel aparentavam não sobreviver dada a escassez de capital e baixos salários. A Toyota navegava perto da falência e a possibilidade de investir em novos equipamentos e novas invenções era apenas uma miragem (Pinto, 2008). Foi então que Ohno, apoiado por dois colaboradores, Shigeo Shingo, consultor de qualidade da Toyota, e Edward Deming, responsável pela introdução do controlo estatístico do processo no Japão, criou um modelo de gestão cujo objetivo era desenvolver processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios em todas as fases do processo de fabrico ou montagem. De acordo com o artigo de Muller, Ohno visitou nos EUA as plantas da GM e da Ford, e uma das ideias que mais o impressionou foi o sistema de supermercados vigente, em que eram recolocados os produtos nas prateleiras assim que outros eram vendidos. Este sistema ainda se encontrava em estudo no Japão, acabando por se associar ao *Just-in-Time* (JIT) e originar mais tarde o *Kanban* na Toyota Motor Company. Ainda segundo o mesmo autor, para fazer face ao desafio, Ohno, criou uma estratégia de manufatura na empresa que visou essencialmente a obtenção de lucros e a criação de patamares sustentáveis para atingir o crescimento. Estava então criado o Sistema Toyota de Produção (TPS), que a partir de 1973 foi seguido por outras empresas japonesas, que viam naquele modelo um exemplo de crescimento a seguir. A ideia básica do TPS passava por produzir os tipos de unidades necessárias no tempo necessário e na quantidade necessária, reduzindo ao mesmo tempo inventários intermédios e de produto acabado, que se mantinham nas empresas durante muito tempo.

Mais tarde, com origem no Sistema Toyota de Produção, surgiu o Sistema de Produção *Lean* (ou *Lean Manufacturing*), que manteve praticamente a mesma filosofia do anterior. O *Lean Manufacturing* visava estabelecer um sistema eficaz, capaz de se adaptar permanentemente às exigências do mercado e dos seus clientes. Baseado numa cultura de melhoria contínua e orientação para o cliente, o *Lean* tinha um objetivo primordial: *criar valor, sem desperdício*. (Pinto, 2008)

3.1.1. Os Conceitos

À medida que as empresas japonesas iam adotando o TPS, o conceito *Lean* começou a generalizar-se. No início dos anos 90, já se dizia que muitas empresas pensavam *lean*, daí começar a surgir a ideia de aplicar o conceito *Lean Thinking*. *Lean* de magro, sem gordura, de utilizar o apenas necessário, nem mais cedo nem mais tarde. *Lean* de menos pessoas, menos espaço, menos stock, menos materiais. *Lean* de mais qualidade, mais flexibilidade, de maior proximidade ao cliente. (Pinto, 2008)

Segundo Pinto (2009), a expressão *Lean Thinking* foi pela primeira vez utilizada por James Womack no livro com o mesmo nome, e a partir daí, este autor ficou, em definitivo, associado a esta filosofia de gestão.

Atualmente o conceito não é apenas aplicado nas empresas industriais, estando já presente também nos setores dos serviços público e privado, com variantes como *Lean Enterprise* ou *Lean Business System*. (Pinto, 2009)

Para Monden (1984), “o Sistema Toyota de Produção (ou *Lean Manufacturing*) é um revolucionário sistema de gestão da produção, que segue o Sistema Taylor (Gestão Científica) e o Sistema Ford (Linha de Montagem em Massa)”. Este autor considera que, para além da redução de custos que é a meta mais importante, existem ainda três outras metas a atingir para que o sistema funcione em pleno. São elas:

1. Controlo da Qualidade, que mostra a capacidade do sistema em assegurar que os produtos são projetados e produzidos de acordo com as especificações do cliente;
2. Garantia da Qualidade, que garante que o processo seguinte receba unidades boas do antecedente;
3. Respeito à Condição Humana, que deve fazer parte da cultura da organização enquanto esta usa o recurso humano para atingir os seus objetivos de custos.

Monden (1984) destaca a principal característica do TPS, que diz que a primeira meta não pode ser atingida sem o cumprimento das outras metas e vice-versa. Ainda segundo o mesmo autor, o TPS é sustentado por dois conceitos-chave: O *Just-in-Time*, que significa produzir o que é necessário, na quantidade necessária, no tempo necessário, e o Autocontrolo (*Jidoka*, em japonês), que é basicamente o controlo autónomo dos defeitos. Daqui derivam outros dois conceitos: Flexibilidade da mão de obra (*Shejinka*), em que a equipa de operários é diversificada e preparada para responder às flutuações da procura e o Pensamento Criativo (*Soifuku*), que é capitalizado nas sugestões dos operários.

Estes quatro conceitos são concretizados com a aplicação dos seguintes sistemas e métodos :

1. Sistema Kanban, para manter a produção no tempo exato (JIT);
2. Métodos Regulares de Produção, para adaptação às variações da procura;
3. Redução do Tempo de Preparação das Máquinas, para reduzir os tempos de execução e produção (Single Minute Exchange of Die – SMED);
4. Padronização das Operações, para obter balanceamento de linhas;
5. *Layout* do Posto de Trabalho e Funcionários com Multifunções, para obter o conceito de flexibilidade da mão de obra;

6. Sistema de Sugestões, para reduzir a mão de obra e aumentar a moral dos funcionários.
7. Controlo Visual, para favorecer o conceito de autocontrolo;
8. Sistema de Gestão por Funções, para promover o controlo de qualidade em toda a empresa. (Monden, 1984)

3.1.2. Os 7 Desperdícios

“Tudo o que está para além da mínima quantidade de equipamento, materiais, peças, espaço e mão de obra, estritamente essenciais para acrescentar valor ao produto.”

Fujio Cho, chairman da Toyota Motor Company definiu desta forma o conceito de desperdício. Antes, em linguagem mais simples, Henry Ford, fundador da Ford Motor Company, já tinha dado a sua opinião: *“Se não acrescenta valor, é desperdício.”*

Suzaki (2010) alertou para o facto de que, quando analisamos o tempo que as pessoas passam na fábrica, descobrimos que um operário, em mais de 95% de tempo, não está a ser utilizado para acrescentar valor ao produto, e que em vez disso está a acrescentar-lhe custo. Quando quantificamos o material em curso de fabrico, descobrimos também que mais de 95% do tempo é passado no armazém à espera de ser transportado, processado ou inspecionado. Da mesma forma, uma máquina pode estar a produzir artigos desnecessários ou defeituosos, avariada ou a precisar de manutenção.

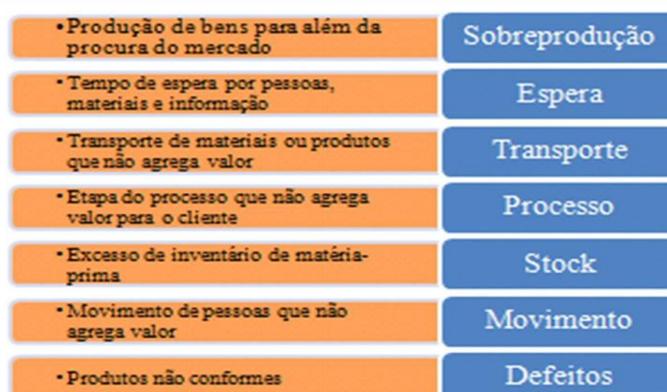


Figura 7 – 7 Desperdícios

O mesmo autor, um reconhecido consultor para a área da competitividade em operações, aborda na sua obra, *Gestão de Operações Lean*, os 7 desperdícios identificados pela Toyota (Figura 7), normalmente verificados nas fábricas mesmo que estas produzam produtos diferentes:

Sobreprodução. Este é um dos piores desperdícios que normalmente persiste nas empresas, que é caracterizado pelo facto de se produzirem bens para além da procura do mercado. Os efeitos do excesso de produção agravam-se quando a procura abranda, o que faz com que

muitas empresas acumulem stock adicional de produto não vendido. Deve ser assegurado que é produzida apenas a quantidade necessária pelo cliente, com alta qualidade, baixo custo e no momento necessário.

Espera. Comparando com o anterior, em que o operador parece estar sempre ocupado, este desperdício é, normalmente, fácil de identificar. Ocorre quando o operador se encontra parado, por falta de peças ou ferramentas, ou até mesmo por avaria dos equipamentos. Desta forma, os supervisores podem avaliar melhor a capacidade e controlar a situação mais rapidamente.

Transporte. *Layouts* mal planeados podem obrigar a que se percorram grandes distâncias para transportar o material e resultar num excessivo manuseamento de materiais por terem sido armazenados de forma desorganizada, mantidos num local temporário ou estarem constantemente a mudar de local. A eliminação deste desperdício é conseguida com a implementação de melhorias ao nível do *layout*, da sincronização de processos, dos meios de transporte, arrumação e organização do posto de trabalho.

Processo. O próprio processo pode em si ser uma fonte de problemas, resultando num desperdício desnecessário. Por exemplo, uma determinada operação de fundição, pode necessitar de trabalho adicional, como rebarbar ou dar acabamento na superfície. Mas se existir preocupação com a aplicação dos processos produtivos na altura do desenvolvimento do produto ou com a boa condição dos moldes, podem ser evitadas operações adicionais de acabamento. Durante o processamento dos produtos, certas especificações do processo de pintura ou aperto de parafusos, podem ser desnecessárias para satisfazer os requisitos do produto.

Stock. O stock em excesso aumenta o custo do produto. Implica mais manutenção, espaço, juros, pessoas, entre outros. Deve-se tentar reduzir os níveis de stocks devido a problemas que lhe estão associados: a presença de materiais obsoletos no posto de trabalho, a produção de artigos que não vão ser necessários no processo seguinte, comprar ou armazenar artigos em grandes lotes e produção de lotes grandes.

Movimento. Pegar e posicionar são exemplos de movimentos que podem ser reduzidos, mantendo peças ou ferramentas próximas do local onde vão ser usadas. Caminhar é outra forma de movimento desperdiçado, especialmente quando uma pessoa é responsável pela operação de várias máquinas. Algo que nunca deve ser esquecido é que “movimento” não é necessariamente igual a “trabalho”. Um operador consegue manter-se “ocupado” durante três horas à procura de ferramentas por toda a fábrica sem acrescentar um único cêntimo ao valor do produto. Em vez disso, adicionou três horas do seu salário ao custo do produto e três horas ao *lead time* do produto antes de este ser entregue ao cliente.

Defeitos. Quando acontecem defeitos num posto de trabalho, os operadores dos postos seguintes têm desperdícios de espera, acrescentando custo e *lead time* ao produto. Situação ainda mais grave é quando os clientes encontram defeitos depois da entrega do produto. (Adaptado de Susaki, 2010)

3.1.3. Os 5 Princípios do *Lean Thinking*

Womack et al. (1990) identificou os 5 princípios do *Lean Thinking*. Para estes autores, esta filosofia é uma forma de criar valor para o cliente, definir uma melhor sequência para

organizar as atividades que agregam valor e realizar essas atividades sem interrupções, somente quando solicitadas e de uma forma cada vez mais eficaz.

Segundo o LIB (2006), os 5 princípios *Lean Thinking* são os seguintes:

- 1. Criar valor.** A necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é a necessidade, procurar satisfazê-la e cobrar por isso um preço específico, a fim de manter a empresa no negócio e aumentar os lucros através da melhoria contínua dos processos, reduzindo os custos e melhorando a qualidade.
- 2. Definir a cadeia de valor.** Definir a cadeia produtiva, e separar os processos em 3 tipos: aqueles que efetivamente geram valor, aqueles que não geram valor mas são importantes para manutenção dos processos e da qualidade e, por fim, aqueles que não agregam valor, devendo ser eliminados imediatamente.
- 3. Otimizar o fluxo.** Ter a capacidade de desenvolver, produzir e distribuir rapidamente torna o produto sempre atual, ou seja, a empresa pode atender às necessidades dos clientes quase que instantaneamente.
- 4. Sistema Pull.** As empresas deixam de “empurrar” os produtos para o consumidor, reduzindo a necessidade de stocks e valorizando o produto. O cliente passa a puxar o fluxo de valor, passando a ser ele a liderar os processos, competindo-lhe apenas desencadear os pedidos.
- 5. Perfeição.** A busca do aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve orientar todos os esforços da empresa em processos transparentes, onde todos os membros da cadeia tenham conhecimento profundo do processo como um todo.

3.2. Gemba KAIZEN

O *KAIZEN* é um conceito japonês que fomenta a melhoria contínua no seio de uma empresa ou organização. Derivando da associação de *KAI* (mudança) e *ZEN* (bom, para melhor), esta é uma das técnicas de gestão mais reconhecidas em todo o mundo. Esta filosofia, segundo o seu fundador, Massaki Imai, aposta em soluções simples e de baixo custo, baseadas no *know-how* pessoal, no empenho de toda uma equipa envolvida e com um objetivo central: a eliminação do desperdício no *Gemba* (local de trabalho). É por isso, na eliminação sistemática de *Muda* (desperdício), *Muri* (dificuldade) e *Mura* (irregularidade) que os métodos *KAIZEN* são aplicados, na maior parte dos casos com eficácia.

Segundo Massaki Imai (1986), um programa bem definido de *KAIZEN* pode ser dividido em 3 conceitos essenciais: *KAIZEN* orientado para a direção, *KAIZEN* orientado para o grupo e *KAIZEN* orientado para as pessoas;

- **KAIZEN orientado para a direcção**

O *KAIZEN* orientado para a direcção envolve as questões mais importantes garantindo progressos na implantação e na moral. Segundo Imai, a direcção deve dedicar, pelo menos, 50 por cento do seu tempo a ações de melhoria, para que estas se desenvolvam em todas as áreas da empresa. Se as pessoas são capazes de seguir o programa mas não o fazem, a direcção deve introduzir a disciplina. Se as pessoas não são capazes de seguir o programa, devem ser sensibilizadas e sujeitas a formação ou então a uma revisão do programa.

- **KAIZEN orientado para o grupo**

Não se pode falar em melhoria sem destacar a importância e as ações da equipa. A melhoria contínua significa o envolvimento de todas as pessoas da organização no sentido de ir em busca, de forma consistente e sistemática, do aperfeiçoamento dos produtos e processos industriais. Os grupos *KAIZEN* devem ser constituídos por pessoas de todas as áreas da empresa, de forma a poderem usufruir das diversas técnicas na resolução dos seus problemas. Para cada área, existe um coordenador, que tem o papel de informar todos os elementos do grupo sobre o que está a acontecer e canalizar essas informações de forma a transformá-las em ações. Numa primeira fase, faz-se um estudo de todos os problemas, definindo quais são os de fácil solução e quais vão necessitar de ser sujeitos aos métodos de análise, como por exemplo, o método PDCA (*Plan-Do-Check-Action*). O Ciclo PDCA, representado na figura 8, foi desenvolvido por Edward Deming e é constituído por 4 fases: na primeira é estabelecido um alvo para melhoria e elaborado um plano de ação, na segunda executa-se o plano, na terceira verifica-se se os resultados são os esperados, e por fim, estabelece-se um padrão para os novos procedimentos para que os mesmos problemas não voltem a ocorrer. (Imai, 1986)



Figura 8 – Ciclo PDCA

- **KAIZEN orientado para as pessoas**

O *KAIZEN* orientado para as pessoas ocorre na forma de sugestões, e faz com que as pessoas se envolvam no trabalho com mais empenho. Um sistema de sugestões deve ser dinâmico e funcional e pode ajudar o supervisor na avaliação dos operários.

3.3. Metodologias **KAIZEN** para a Melhoria Contínua

3.3.1. A Organização do Local de Trabalho – O Programa 5 S

O Programa 5S é uma metodologia de origem japonesa para a organização de quaisquer ambientes, principalmente os de trabalho. É composta por 5 princípios (ou *sensos*), que têm em comum o facto de em japonês começarem pela letra “S”. Basicamente consiste em organizar o local de trabalho, mantê-lo arrumado e em ordem, limpo, com as condições padronizadas e a disciplina necessária para se conseguir o melhor desempenho nas atividades de trabalho.

O *Housekeeping* (em português, Limpeza) é outro nome atribuído a esta metodologia e representa o primeiro passo da aplicação para implantação de qualquer programa de melhoria e qualidade numa empresa.

As 5 palavras constituintes do *Housekeeping* são:

- ✓ **Seiri.** *Senso de organização.* Distinguir todos os itens necessários no local de trabalho dos que não são necessários, eliminando estes.
- ✓ **Seiton.** *Senso de ordem e padronização.* Arrumar e padronizar a forma de usar ou conservar os itens necessários de modo a ser fácil encontrá-los e utilizá-los.
- ✓ **Seisu.** *Senso de limpeza.* Zelar por todo o material de trabalho, mantendo sempre limpo e arrumado o espaço de trabalho.
- ✓ **Seiketsu.** *Senso de higiene.* A aplicação constante deste senso mantém a prática dos 3 anteriores. Refere-se à padronização das práticas de trabalho, para que estas sejam favoráveis para a saúde e higiene pessoal. O operador deve cuidar de si mesmo, isto é, deve usar uniformes de trabalho corretos, usar luvas e calçado adequado, e preocupar-se sempre em manter o seu local de trabalho limpo.
- ✓ **Shitsuke.** *Senso de autodisciplina.* Refere-se à manutenção e revisão dos padrões. Uma vez estabelecidos os *sensos* anteriores, estes transformam-se numa nova maneira de trabalhar, não permitindo um regresso às práticas antigas. A autodisciplina é um dos fatores mais importantes no dia a dia da vida de uma empresa.

Segundo Susaki (2010), o Programa 5S não cresce espontaneamente, nem é possível mantê-lo sem esforço e persistência. A arrumação e organização do local de trabalho estão diretamente relacionadas com a obtenção de disciplina na produção. Por exemplo, se o controlo da produção, manutenção, controlo de qualidade ou o *layout* não foram bem executados, os problemas vão facilmente ser interpretados como má arrumação e postos de trabalho desorganizados. No entanto, uma boa arrumação e organização do posto de trabalho vão

resultar num melhor cumprimento do planeamento, menos avarias de máquinas, percentagens mais baixas de defeitos e rápida exposição de setores problemáticos.

3.3.2. O Controlo Visual

O controlo visual faz parte do nosso dia a dia. São exemplos os sinais de trânsito na rua, os alertas para o uso de equipamentos de proteção individuais e coletivos no trabalho, sinais indicativos de perigo (usados em rótulos e embalagens de produtos em geral, como forma de advertência sobre o conteúdo) em casa, e outros símbolos comuns em restaurantes, hospitais e terminais.

Numa empresa, o controlo visual, facilita a introdução do Princípio da Transparência de Processos, em que transparência é definida como a capacidade de um processo de produção comunicar com as pessoas. Para a aplicação deste princípio, é utilizado um sistema visual que é constituído por um grupo de dispositivos visuais intencionalmente projetados para compartilhar informações que interligam a necessidade de uma atividade com as informações necessárias para a sua realização (Rech, 2004).

Para Neves (2010), o controlo visual no chão de fábrica, além de apoiar o departamento da produção no estabelecimento de prioridades, torna fácil o acesso de todos os envolvidos às informações. Operadores, supervisores e administração podem compartilhar informações e assim todos têm a mesma visão dos problemas e do andamento das atividades.

De acordo com Bezugo (2010), “o objetivo do controlo visual é poder usar sinais visuais adequados para tornar os inimigos da excelência operacional (o desperdício, a variabilidade, a inflexibilidade) óbvios para todos, para que uma ação corretiva possa ser tomada de imediato”.

Rech (2004) afirma que tudo o que está relacionado com o sistema produtivo da empresa é alvo da aplicação das técnicas do controlo visual: quantidades de stock em processo, índices de qualidade, paragem de linhas, interrupção de máquinas e padronização de trabalhos.

Segundo Neves (2010), para um local apresentar uma estrutura adequada do ponto de vista visual, deve passar por 3 estágios:

1. **Organização Visual:** preparação do local de trabalho e instalação dos locais de informação;
2. **Solução Visual:** promover a visualização dos padrões, da aderência, construção da padronização física no local de trabalho;
3. **Segurança Visual:** deteção de defeitos, de erros e, eliminação das causas dos erros.

Para Pinto (2006), o controlo visual requer que todo o posto de trabalho disponha de sinais visuais ou sonoros, que informem as pessoas do que fazer, quando fazer, o que não está a correr bem, e quem está a precisar de ajuda. Segundo este autor, o controlo visual deve preencher os seguintes requisitos:

- Mostrar como o trabalho deve ser executado;
- Mostrar como os materiais e ferramentas são usados e posteriormente guardados ou armazenados;
- Mostrar o status dos processos;
- Indicar quando as pessoas estão a precisar de ajuda através de *andons* (sinais luminosos que indicam a existência de problemas);
- Identificar áreas perigosas;
- Apoiar operações *poka-yoke* (à prova de erro).

Susaki (2010) compara estas atividades com o sistema nervoso e muscular de um corpo humano saudável, capaz de responder rapidamente a alterações ambientais. O mesmo autor defende a criação de um sistema autónomo e descentralizado, que não inunde o cérebro com informação desatualizada para processar. Recorrendo à nossa criatividade e com a utilização de técnicas como *jidoka* (“automação com toque humano”), *andon*, quadros de controlo de produção, *poka-yoke*, controlo estatístico do processo, as operações da fábrica ficam muito mais fortalecidas, a comunicação é melhorada e os problemas são resolvidos na sua origem.

3.3.3. A Redução do Tempo de Setup – O SMED

A redução do tempo de *setup* é atualmente um requisito essencial para a produção de séries pequenas e médias, resultando em preparações de trabalho mais simples e consequentemente em *lead times* mais curtos. A ideia de reduzir os tempos de *setup*, com o objetivo de diminuir o tempo perdido entre mudanças de série de fabrico, foi desenvolvida por Shigeo Shingo (1985) através da elaboração do método SMED (*Single Minute Exchange of Die*).

O SMED, como abordagem científica, foi estudado durante 19 anos e teve a sua origem nas instalações da Mazda Toyo Kogyo, em 1950, no Japão. Durante a análise da atividade da troca de matrizes de uma prensa, Shingo identificou e classificou como *setup* interno o conjunto de atividades que têm obrigatoriamente que ser realizadas com a máquina parada, e *setup* externo como o conjunto de operações passíveis de realização com a máquina a produzir. A partir daqui outras ideias surgiram, entre elas o aumento do número de ferramentas para que o *setup* pudesse ser feito separadamente (Figura 9).

Mais tarde, na Toyota, Shingo conseguiu reduzir o tempo de paragem de uma prensa para apenas três minutos, através da transferência de algumas atividades com a máquina parada para o momento em que esta estivesse a produzir, ou seja, convertendo o *setup* interno em externo. Desta forma nasceu o conceito que originou a sigla SMED: troca de matrizes em menos de dez minutos. (Sugai et al., 2007)



Figura 9 - Constituição básica do setup (Fonte: Lopes et al)

Shingo (1985) dividiu o SMED em 3 etapas fundamentais:

- Etapa 1: *Separar setup interno e setup externo*. As atividades que podem ser realizadas com a máquina parada (internas) são separadas das atividades que podem ser realizadas com a máquina a trabalhar (externas).
- Etapa 2: *Converter o setup interno em setup externo*. Das atividades realizadas internamente, são verificadas quais podem ser antecipadas e convertidas em *setup* externo.
- Etapa 3: *Otimizar todas as operações básicas do setup interno e externo*. Procurar reduzir o *setup* interno, e otimizar as atividades de armazenagem e transporte respeitantes ao *setup* externo.

No artigo de Sugai et al. (2007), é analisada a definição do SMED a partir de outros autores. Para uns, o SMED é “um conceito”, atendendo ao enunciado das suas etapas no sentido de diminuir o tempo de *setup* com um objetivo e uma aplicação específica. Noutro ponto de vista, o SMED é visto como “uma metodologia”, na qual as suas etapas são integradas na forma de fluxograma, permitindo atingir a meta proposta e, numa outra distinção, o SMED é considerado “um programa de melhoria”, não só de processos, mas também de equipamentos, com vista a um tempo de *setup* reduzido. Perante a diversidade de opiniões é possível, no entanto, constatar a presença de um requisito comum e fundamental: o tempo.

A eliminação de ajustes é fundamental para a redução do *setup* interno, que em alguns casos pode consumir 40% a 50% do tempo total de *setup*. Para Susaki (2010), a eliminação de ajustes pode ser concretizada através de:

- Uso de *gabarits* standard;
- Operações paralelas, que implicam mais trabalhadores no *setup*;
- Melhorar processos de aperto para reduzir tempos de montagem e retirada de ferramentas, através da redução do número de parafusos, normalização das suas cabeças e eliminação de roscas desnecessárias (Figura 10).



Figura 10 – Exemplo de apertos funcionais

Para um bom funcionamento do *setup* externo, Shingo (1985), considera essenciais as seguintes ferramentas:

- Aplicação de uma *check list*, a qual deve contar com a listagem de todos os elementos necessários para efetuar o *setup*, ou seja, o conjunto de componentes e passos necessários para a execução do *setup*, tais como, nomes, especificações, códigos, dimensões, ferramentas, pressão, temperatura e outros parâmetros. A *check list* faz com que os operadores tenham a informação toda disponível durante o trabalho, evitando desperdícios de tempo na procura de ferramentas ou esclarecimentos.
- Verificação das condições das ferramentas, dispositivos e informações que vão ser utilizados no *setup*, para evitar a utilização incorreta das mesmas e consequente mau funcionamento.
- Melhorar o transporte de peças e ferramentas para evitar demoras na espera por ferramentas e outros dispositivos que necessitam de empilhadores para serem transportados. Devem ser estudados procedimentos para eliminar ou melhorar o transporte, que é visto como uma fonte de desperdício, e para isso podem ser criadas soluções como carrinhos sob carris, com rolos no topo, de forma a reduzir a necessidade de serem utilizadas pontes rolantes ou empilhadores. (Rech, 2004)

3.4. Ferramentas da Qualidade

Para um melhor estudo e acompanhamento do processo analisado neste relatório, foram utilizadas algumas ferramentas da qualidade que serão abordadas no próximo capítulo. Essas ferramentas são usadas atualmente em muitas organizações e são extremamente úteis para a identificação dos problemas, contribuindo também para a sua solução. Sucintamente, as ferramentas da qualidade utilizadas neste trabalho são:

- **Histograma**

Representa a distribuição de frequências de um conjunto de ocorrências (Figura 11 a)). É um gráfico formado por retângulos paralelos, usualmente verticais, que mostra o relacionamento entre duas variáveis. No eixo horizontal vem, normalmente, o intervalo de classes e no vertical a frequência.

- **Gráfico Circular**

Gráfico que mostra como cada uma das partes contribui para o produto ou processo total. Este gráfico apresenta o quadro total, em que todos os itens que o incluem totalizam 100% (Figura 11 b)).

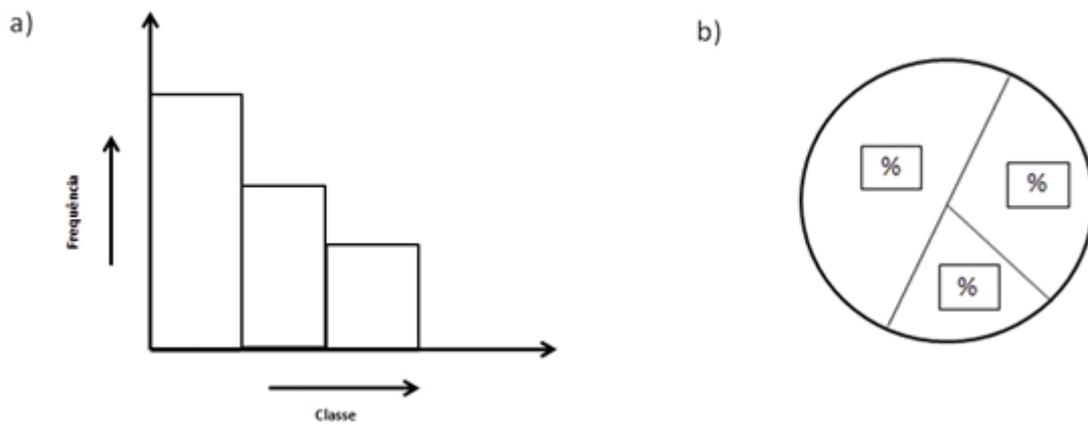


Figura 11 – a) Histograma; b) Gráfico circular

- **Diagrama Causa-Efeito**

Também conhecido por diagrama de Ishikawa, é uma representação gráfica que permite visualizar facilmente a cadeia de causas e efeitos do problema (Figura 12). Este diagrama tem como objetivo identificar e solucionar falhas.

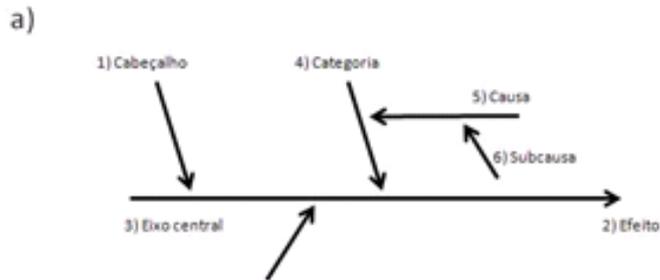


Figura 12 – Diagrama causa-efeito

4. Descrição do Processo no Setor de Maquinação CNC

Antes da abordagem ao problema, foi percebido o funcionamento do setor (Figura 13), nomeadamente o procedimento de preparação das máquinas CNC. Como complemento foi feita uma breve descrição dos equipamentos, suas principais características, indicadores de desempenho, e acessórios fundamentais no apoio à maquinação. Em seguida, foi analisado com maior detalhe o processo de *setup*, sendo definidas as suas fases e expostos os problemas a elas afetos.

4.1. A Preparação das Máquinas CNC

Semanalmente é afixado em cada posto de trabalho um programa de produção, no qual supervisor e operador verificam as referências a maquinar, devendo a partir daí o operador solicitar ao armazém o transporte do lote a maquinar para junto da máquina, e assegurar as ferramentas de corte necessárias para a fabricação das peças.

Depois de receber a ordem de fabrico, o operador procura a respetiva ficha de instruções no dossier da máquina que vai receber o trabalho. A seguir, reúne as ferramentas de corte e procura a ferramenta de posicionamento na estante respetiva. Garantidos estes acessórios, o operador localiza o programa CNC ao mesmo tempo que verifica se este corresponde à versão do desenho anexo à ordem de fabrico, e se assim for, procede à colocação da ferramenta de posicionamento na mesa da máquina. Antes de partir para a fase de programação, o operador vai ainda aferir o estado das ferramentas de corte, garantindo que se encontram em boas condições para serem inseridas no *magazine* da máquina.

Colocada a ferramenta de posicionamento e inseridas as ferramentas de corte, com acompanhamento do programa CNC, o operador realiza a primeira peça da série. Quando esta sai, o operador controla as dimensões obtidas e verifica se estão conforme o desenho, recorrendo por vezes ao apoio de um responsável do controlo da qualidade. Se as dimensões não estiverem garantidas, o operador reajusta os parâmetros da máquina por forma a obter as cotas pretendidas. No final da série, o operador assina a guia de acompanhamento e coloca-a no lote das peças maquinadas.



Figura 13 – Vista geral setor CNC

A capacidade produtiva dos equipamentos disponíveis abrange uma larga gama de dimensões e permite a maquinação de pequenas e médias séries, sendo grande a variedade de referências a maquinar. Para se poder ter uma pequena noção das capacidades, no Anexo A pode ser consultada a descrição técnica com as principais características de cada máquina.

4.2. Ferramentas e Acessórios

As ferramentas necessárias à execução do trabalho nos equipamentos CNC dividem-se em 2 grupos: ferramentas de posicionamento e ferramentas de corte. Para auxílio da mudança de operação durante a maquinação, as máquinas estão equipadas com sistemas de troca de mesa de trabalho automática e sistemas de troca automática de ferramentas.

4.2.1. Ferramentas de Posicionamento e Sistemas de Troca de Mesa de Trabalho Automática

As ferramentas de posicionamento são dispositivos de fixação que servem para fixar as peças na mesa da máquina, no caso dos centros de maquinação, ou na árvore principal, no caso dos tornos (Figura 14). Para operações de fresagem nos centros de maquinação, cada peça tem a sua ferramenta de posicionamento própria, que dependendo da aplicação pode ser concebida para fixar uma ou várias peças.

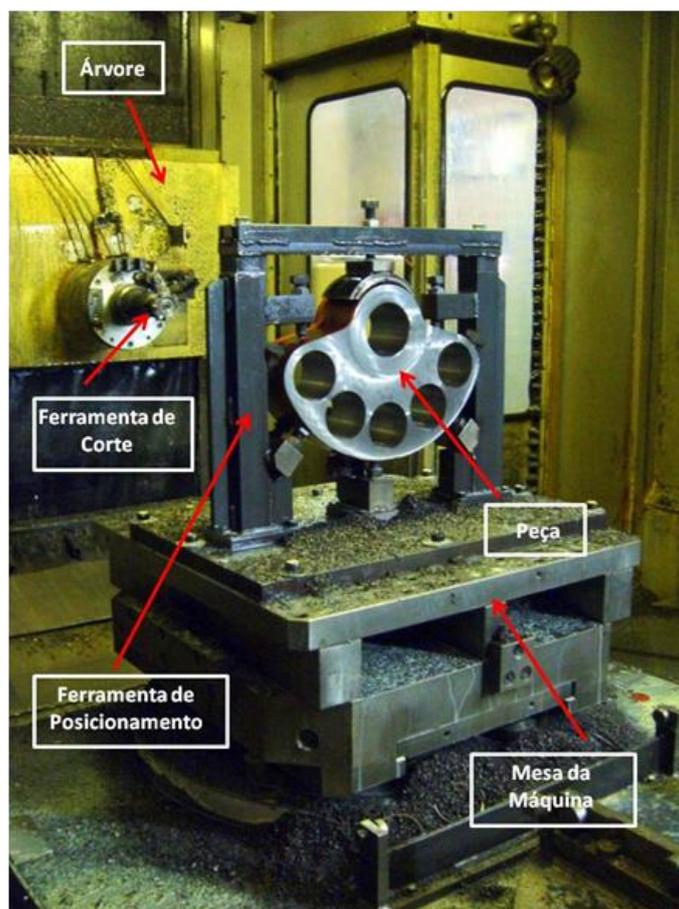


Figura 14 - Vista interior do centro de maquinação Mitsui Seiki H6C

As ferramentas de posicionamento são utilizadas nos 3 centros de maquinação disponíveis, dos quais 2 possuem fixação em mesa giratória e o outro em sistema multimesa. O dispositivo de fixação é fixado sobre a mesa da máquina, que no caso dos centros Mazak e Mitsui Seiki H6C é uma mesa dividida em duas secções. Ou seja, numa secção está montada a peça que está a ser maquinada, enquanto na outra o operador procede à montagem de outra peça. Quando a máquina pára, a mesa gira 180° e a máquina recomeça, enquanto o operador procede à troca da peça acabada por uma nova. No centro Mitsui Seiki HT4A, o procedimento de montagem é o mesmo, mas em vez de mesa giratória, esta máquina é constituída por um sistema do tipo multimesa, composto por 10 mesas.

Para os tornos CNC, os sistemas de fixação utilizados são as buchas de aperto concêntrico, constituídas por 3 grampos (Figura 15 a)). Estas buchas são muito utilizadas no aperto de peças curtas. As peças que exigem maior comprimento de torneamento são maquinadas com a ajuda do contraponto.

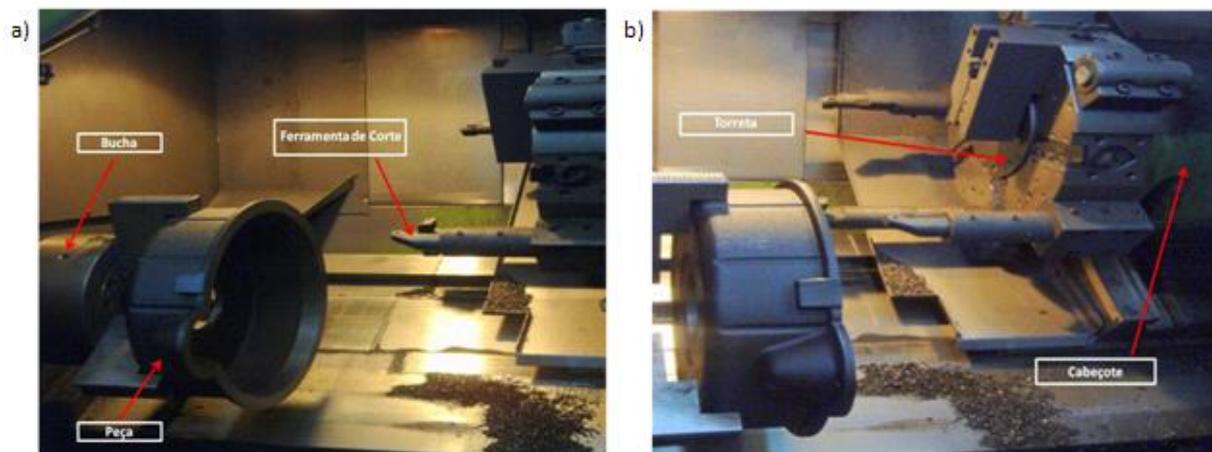


Figura 15 – Interior do torno Mori Seiki; a) Bucha; b) Torreta

4.2.2. Ferramentas de Corte

As ferramentas de corte são todas as ferramentas que permitem realizar as várias operações de maquinação de uma peça, tais como torner, broquear, facejar, chanfrar, fresar, furar, roscar, alargar, etc. As ferramentas mais usadas nos tornos CNC, máquinas utilizadas para obtenção de peças de revolução, são os buris de corte, que são constituídos por uma barra de aço rápido ou aço de ferramenta, mas dado o seu baixo rendimento têm vindo a ser substituídas por suportes porta-pastilhas de fixação mecânica, pois estes permitem a rápida substituição da pastilha sem necessidade de ser afiada. Outra ferramenta muito utilizada nestas máquinas é a broca, para operações de furação.

Para os centros de maquinação, máquinas que executam vários tipos de operações, a ferramenta mais utilizada é a fresa. Segundo Relvas (2000), as fresas dividem-se em 2 tipos: fresas porta-pastilhas ou de pastilha recambiável, e fresas inteiriças de navalhas. Nas primeiras, podemos ter fresas de facejar, de topo e disco ou corte. As fresas inteiriças podem dividir-se em fresas de topo direito ou de acabamento, fresas de topo direito de furar, de ripa, de forma e cilíndricas.

4.2.3. Sistemas de Troca Automática de Ferramentas de Corte

Relativamente aos sistemas de troca automática de ferramentas, os 2 tornos CNC existentes possuem um sistema do tipo torreta. A torreta é comandada pelo programa e gira até colocar a ferramenta desejada na posição de trabalho. A ferramenta pode ser usada de imediato uma vez que já se encontra montada. Este sistema é muito rápido, mas está limitado ao número de posições (Figura 15 b)).

O magazine de cada um dos 3 centros de maquinação existentes está equipado com braço de troca automática. Este sistema consiste num armazenamento de ferramentas em forma de carrossel, que é montado de lado ou na parte de trás da máquina, numa posição vertical ou horizontal, conforme o tipo. Quando é chamada uma nova ferramenta, existe um braço, normalmente equipado com duas pinças, que vai ao carrossel buscar a ferramenta desejada e move-se para a árvore. Com a outra pinça, remove a ferramenta montada e roda para montar a ferramenta chamada. A máquina está pronta para trabalhar enquanto o braço se movimenta para colocar a ferramenta removida no magazine (Figura 16).



Figura 16 – Carrossel e braço automático de troca de ferramentas do centro Mitsui H6C

4.3. Indicadores de Desempenho

A eficiência dos equipamentos é medida todos os dias no início do turno da manhã, com base nos tempos de utilização das máquinas do dia anterior. Através do painel de controlo de cada máquina são registados 3 tempos: tempo em corte, tempo potencial e tempo *power on*.

O tempo potencial está relacionado com a janela de tempo destinada a produzir, das 6h às 23h30. O tempo em corte está associado ao arranque de apara, ou seja, o tempo em que as máquinas estão realmente a produzir, e o tempo *power on* consiste no tempo em que as máquinas estão ligadas, podendo ou não estar a cortar material.

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC

Na figura 17 podemos observar o tempo de utilização do centro Mazak, dado sob a forma de um gráfico, entre os dias 2 e 8 de novembro.

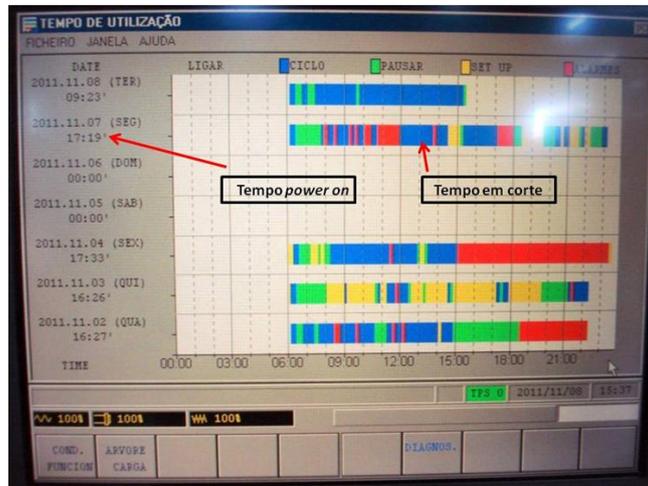


Figura 17 – Janela de tempos de utilização do centro Mazak

Embora também sejam dados outros tempos, apenas são registados os indicados pelas setas. Neste gráfico, foi possível observar através do estado azul que no dia 4, por exemplo, a máquina esteve a cortar material durante, aproximadamente, 6 horas.

Nos tornos, e nas restantes máquinas, os 3 tempos são dados em forma numérica, e não é possível ter uma panorâmica semanal, como no caso anterior. Observando a figura 18, para um determinado dia, o tempo de corte acumulado registado foi de 1194089 minutos. O registo do tempo de corte é feito subtraindo o valor do dia anterior a este tempo de 1194089 minutos. Utiliza-se o mesmo procedimento para o tempo *power on* que, neste caso, marca 3225495 minutos.

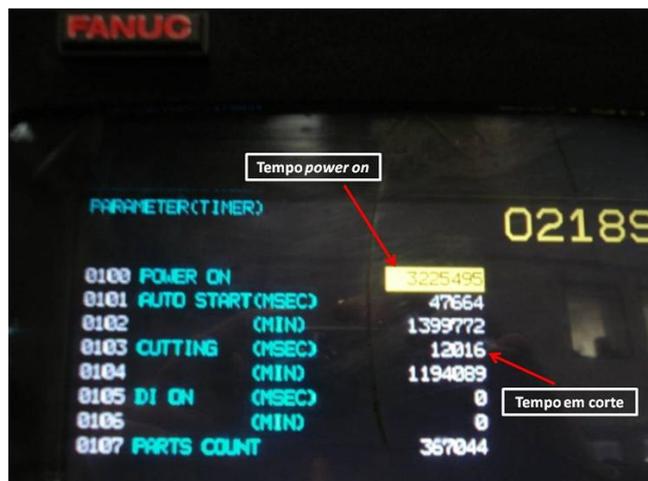


Figura 18 – Janela de tempos de utilização do torno Mori Seiki (2)

Quinzenalmente, é afixado em cada posto trabalho o gráfico de eficiência das máquinas CNC. (Consultar Anexo B)

4.4. O Processo de Setup

O processo de *setup* ocorre na mudança de série, a partir do momento em que sai a última peça boa do lote anterior até à produção da primeira peça boa do novo lote. Entre estes dois momentos há todo um conjunto de tarefas a realizar, necessárias para a preparação das operações de maquinação do novo lote de produção. O tempo decorrido para a realização desta preparação é definido como tempo de *setup*.

4.4.1. Fases do Setup das Máquinas CNC

Depois de observados e compreendidos vários *setups* nas máquinas CNC existentes, foi possível verificar que o trabalho do operador é dividido em 8 fases. Para figurar neste relatório como exemplo, foi seguido o *setup* da 1ª fase da coluna, peça integrante do corpo de uma amassadeira de garfo (daqui em diante designada Peça A), no centro de maquinação Mitsui Seiki HT4A.

1. Limpeza. Limpeza dos equipamentos e das ferramentas envolvidas.

O operador procede a uma limpeza cuidada da base de apoio da ferramenta de posicionamento retirada (Figura 19), removendo toda a apar e óleo de corte. A mesa de apoio da máquina também é limpa, e fica pronta a receber o equipamento do trabalho seguinte.



Figura 19 – Limpeza da ferramenta de posicionamento anterior

2 e 3. Transporte e Movimento do Operador. Movimentação de cargas e matérias através de sistemas auxiliares de movimentação e movimento em vazio dos operadores.

A ferramenta de posicionamento retirada é arrumada numa palete, que é colocada no chão junto da máquina para posterior arrumação. Em seguida, o operador dá abertura da nova operação (Figura 20) e vai localizar a ferramenta de posicionamento, transportando-a até ao posto de trabalho. No armário de ferramentas de apoio, o operador reúne todos os dispositivos de fixação que vão apoiar a montagem, tais como parafusos, grampos, entre outros.



Figura 20 – Abertura de nova operação

4. Posicionamento. Colocação da ferramenta de posicionamento e da primeira peça, incluindo a movimentação das mesmas junto à máquina.

Na sua bancada de trabalho, o operador tem as fichas de instruções que o orientam na montagem. Esta é efetuada com um cuidado minucioso, levando o operador muitas vezes a ter que corrigir posicionamentos e apertos (Figura 21) Os parafusos mais usados são do tipo sextavado e sextavado interior. Montada a ferramenta, é colocada a primeira peça, utilizando o pórtico rolante. Com o pórtico rolante, o operador coloca a nova ferramenta de posicionamento na mesa de apoio da máquina (Figura 22).

Nesta fase considera-se ainda a retirada da ferramenta de posicionamento da série anterior, realizada no início do *setup*.



Figura 21 – Montagem da nova ferramenta de posicionamento



Figura 22 – Posicionamento da peça na ferramenta

5. Ajuste. Centragem e aperto da peça na ferramenta de posicionamento.

Depois de colocada a primeira peça, o operador procede ao seu aperto e centragem (Figura 23). A peça deve assentar nos seus pontos de apoio e o aperto da mesma deve assegurar a sua total imobilização durante a maquinação. Nesta fase vão ser maquinados os bordos voltados para o operador (base da peça) e será dado um furo interior.



Figura 23 – Aperto da peça na ferramenta

6. Mudança de Ferramentas. Localização, ajuste e introdução de ferramentas de corte.

No *magazine*, o operador verifica se estão disponíveis as ferramentas de corte necessárias (Figura 24). As que não estão são lá inseridas depois de aferidas. A aferição é normalmente realizada na bancada do operador.



Figura 24 – Verificação das ferramentas disponíveis no *magazine*

7. Programação. Carregamento do programa CNC e seleção de parâmetros de processo.

No painel de controlo, o operador memoriza as dimensões das ferramentas a utilizar em relação ao ponto origem da peça definido anteriormente (Figura 25). Estas dimensões denominam-se por corretores de ferramentas *offset*. É memorizada ainda a localização das mesmas ferramentas no *magazine*. O programa, neste caso, já estava armazenado na máquina.



Figura 25 – Introdução dos parâmetros no controlo da máquina

8. Afição. Afição dos parâmetros fundamentais durante a maquinação da 1ª peça e até esta sair conforme.

Utilizando um comparador, o operador verifica o posicionamento do ponto-zero da peça em relação ao ponto-zero da máquina (Figura 26). É lançado o programa para ser maquina a primeira peça em modo bloco a bloco, e regulado algum parâmetro que não esteja

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC

devidamente ajustado. Após a maquinação da peça, verifica-se se as dimensões obtidas estão de acordo com o desenho. Se assim for, o *setup* termina, e estão reunidas as condições para serem maquinadas as restantes peças do lote.



Figura 26 – Execução do zero-peça

Estas fases não seguem necessariamente uma sequência fixa. Na maior parte dos casos, os operadores executam estes passos conforme os seus hábitos, muitas vezes também de acordo com o trabalho que estão a executar em paralelo. Na Tabela 1 estão listadas as tarefas e o respetivo tempo empregue em cada uma para o *setup* da Peça A.

Tabela 1 – Atividades executadas pelo operador para a execução da Peça A

No.	Tarefas	Fase	Tempo [min.]
1	Retirar ferramenta posicionamento anterior	Posicionamento	5
2	Limpar ferramenta posicionamento anterior	Limpeza	8
3	Arrumar ferramenta posicionamento anterior	Transporte	1
3	Fechar ordem de fabrico	Movimento	0,5
4	Abrir nova ordem de fabrico	Movimento	0,5
5	Localizar nova ferramenta posicionamento	Movimento	5
6	Transportar nova ferramenta até junto da máquina	Transporte	3
7	Limpar nova ferramenta de posicionamento	Limpeza	4
8	Preparar acessórios da ferramenta de posicionamento	Movimento	10
9	Limpar mesa da máquina	Limpeza	3
10	Posicionar nova ferramenta de posicionamento	Posicionamento	3
11	Apertar nova ferramenta de posicionamento	Posicionamento	50
12	Posicionar nova peça	Posicionamento	2
13	Apertar nova peça	Ajuste	19
14	Localizar ferramentas de corte	Mudança ferramentas	4
15	Aferir ferramentas de corte	Mudança ferramentas	14
16	Introduzir ferramentas de corte no magazine da máquina	Mudança ferramentas	4
17	Introduzir dados das ferramentas de corte no comando da máquina	Mudança ferramentas	15
18	Maquinagem da 1ª peça	Afinação	40
		TOTAL	191

4.4.2. Setup Externo e Setup Interno

Em qualquer análise de *setup* é importante distinguir o trabalho que pode ser feito enquanto a máquina está a trabalhar e aquele que deve ser feito com a máquina parada. Em *setup* externo incluem-se as fases que podem ser executadas enquanto a máquina ainda está a produzir e em *setup* interno, as fases que só podem ser realizadas com a máquina parada. Através da Figura 27 podemos visualizar o processo em estudo com e sem separação das fases de *setup* interno e externo. A fase de programação pode ser dividida em externa e interna, como veremos mais adiante.

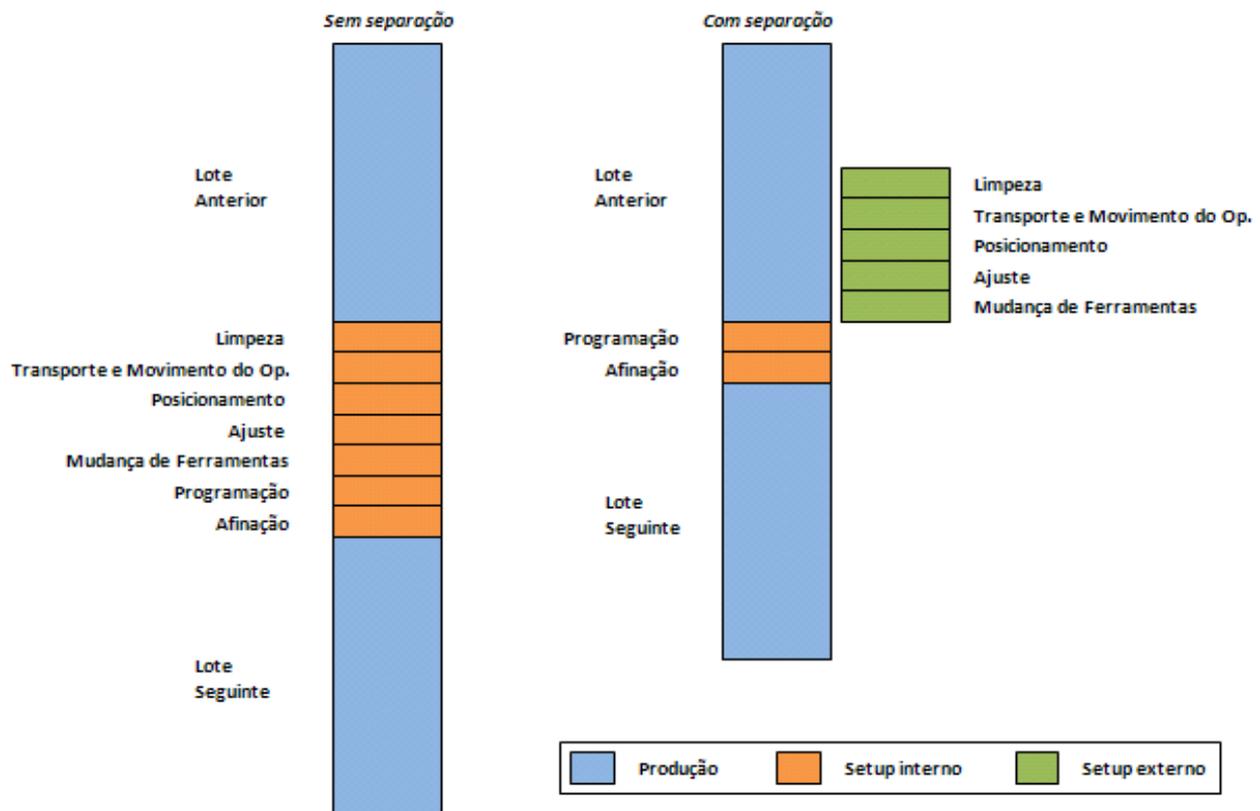


Figura 27 – Constituição do setup das máquinas CNC

4.5. Identificação de Problemas no Processo de Setup e suas Causas

Ao longo das várias observações realizadas ao processo de *setup* dos centros de maquinação existentes no setor, foi possível identificar os vários problemas que estão na origem de *setups* longos e que justificam a tomada de decisões necessárias quanto a uma possível aplicação de metodologias *Lean*.

Nem sempre os problemas verificados podem justificar um *setup* de tempo elevado. A variedade de dimensões e formas das peças a maquinar pode, por si só, justificar a dificuldade na definição de um tempo médio de *setup*, o que aliado a problemas de organização torna o processo ainda mais longo.

A inexistência de um padrão torna-se um problema ainda maior quando o operador carece de experiência. Ao invés, com um processo homogéneo, são criadas rotinas de trabalho iguais para toda a equipa permitindo que os operadores menos experientes aprendam com os mais especializados.

O *setup* envolve um certo número de ferramentas e os problemas começam logo por ser visíveis na organização das ferramentas manuais e das ferramentas de posicionamento. O facto de estas não terem lugar fixo, faz com que os operadores desperdicem algum tempo na sua procura. Notou-se que não há um pré-planeamento do *setup*, o que leva a que o operador perca muito tempo com tarefas que já podiam ter sido antecipadas, principalmente a procurar/preparar ferramentas de corte que já podiam estar à sua disposição no posto de trabalho. Os problemas a nível de *setup* interno também existem, e para além de não serem tão óbvios são também de resolução mais complexa.

Foi feito um levantamento dos problemas existentes, não só associados ao *setup* mas também de carácter geral, para que se perceba onde realmente é necessário atuar e assim encontrar a melhor solução para os minimizar ou até mesmo eliminar. Esse levantamento foi esquematizado na forma de um diagrama de causa-efeito e representado na Figura 28.

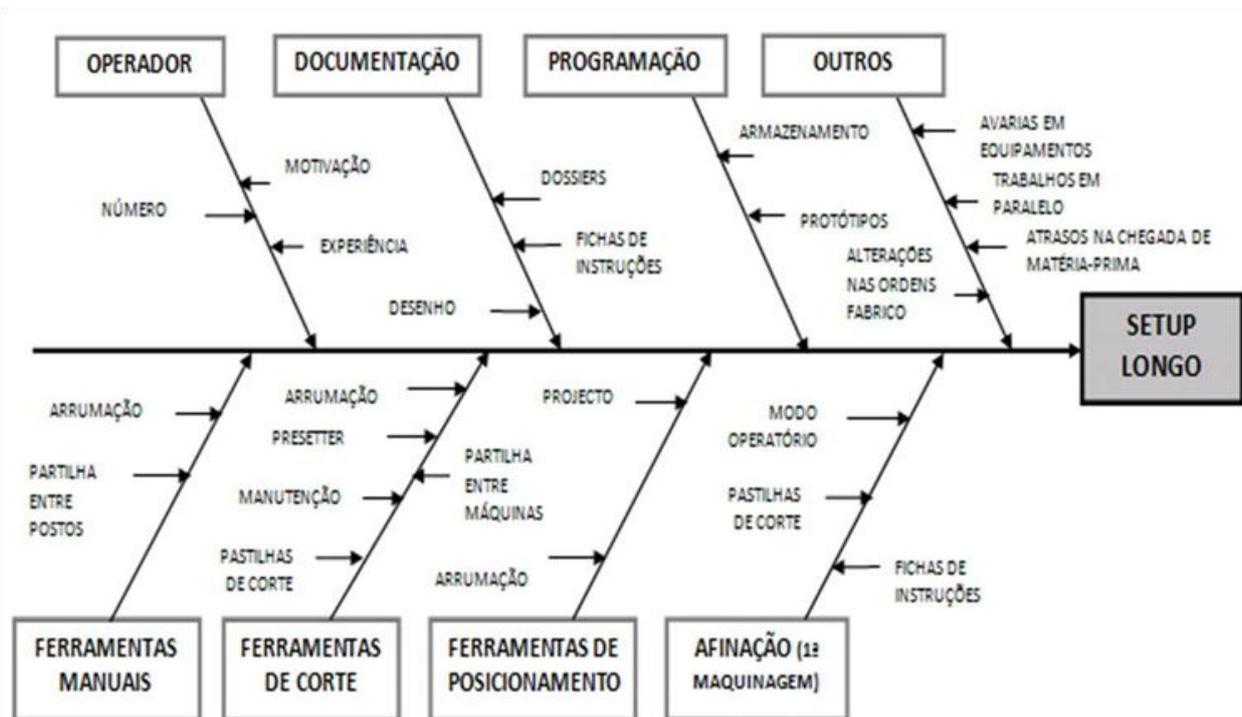


Figura 28 – Diagrama de causa-efeito para os tempos de setup elevados

A organização e limpeza dos postos de trabalho é talvez o problema mais evidente, provavelmente aquele a exigir uma intervenção mais urgente. A acumulação de materiais em cima das mesas de apoio ao trabalho, a desarrumação nos armários onde estão colocadas as

ferramentas, sejam manuais ou de corte, a acumulação de ferramentas de posicionamento em paletes dispostas pelo chão ou mesmo em cima das mesas, e a existência de sujidade em alguns locais, são exemplos da desorganização observada que influencia negativamente o *setup*. Na Figura 29 é possível observar material deixado ao acaso numa mesa de apoio.



Figura 29 – Exemplo de desarrumação numa mesa de apoio ao trabalho

- **Ferramentas Manuais de Apoio ao Trabalho e Acessórios**

As ferramentas utilizadas na montagem de ferramentas de posicionamento e aperto de peças, tais como chaves de bocas e de estrias, assim como parafusos e outros acessórios, não têm lugar fixo ou estão misturadas com outras em caixas ou gavetas sem identificação. Quando o operador precisa de uma ferramenta, procura-a no interior das caixas ou gavetas até encontrar a desejada, e não raras vezes, a ferramenta está debaixo de todas as outras. Para além disso, no mesmo local são encontradas ferramentas do mesmo tipo, algumas delas danificadas, o que dificulta ainda mais a procura.

Como não existe um conjunto de ferramentas definido para cada posto de trabalho, o operador anda de posto em posto a procurar ferramentas, o que o faz gastar tempo durante a preparação.

Muitas vezes, no final de uma montagem, as ferramentas são deixadas ao acaso nas mesas ou em superfícies de apoio da máquina, não havendo preocupação em colocá-las nos locais adequados, o que leva a que a situação observada nas figuras 30 e 31 se mantenha durante alguns dias.



Figura 30 – Ferramentas espalhadas numa bancada



Figura 31 – Exemplo de bancada desarrumada

• Ferramentas de Posicionamento

Para o armazenamento das ferramentas de posicionamento existem 3 estantes (Figura 32), sendo aquelas dispostas sob paletes ao longo das várias prateleiras. Cada palete pode ter uma ou mais ferramentas, dependendo do tamanho de cada uma. Para facilitar a localização, existe uma tabela onde as ferramentas são listadas, que para além de não estar visível a todos (está guardada no dossier de uma das máquinas), se encontra bastante incompleta. Isto pode explicar o tempo que muitas vezes um operador perde a procurar uma ferramenta. A existência de prateleiras vazias é justificada pelas ferramentas acumuladas no chão (Figura 33) em redor das máquinas durante semanas, que quando são arrumadas nas estantes provavelmente não vão ocupar o lugar correto, ou porque nunca o tiveram ou porque outras já o ocuparam.



Figura 32 – Estantes das ferramentas de posicionamento



Figura 33 – Ferramentas de posicionamento deixadas no chão

As ferramentas de posicionamento disponíveis para os centros de maquinação são fabricadas na empresa e são de fixação permanente (na sua grande maioria), ou de fixação modular. Estas, comparadas com as primeiras em que as peças são apenas colocadas e apertadas, dão origem a tempos de *setup* mais elevados, visto que o operador monta a ferramenta módulo a módulo na própria mesa da máquina, o que o obriga constantemente a recorrer a instruções de montagem e a corrigir posicionamentos (Figura 34). As ferramentas de fixação permanente favorecem as fases de montagem, tornando-as mais rápidas, podendo também influenciar positivamente os tempos de maquinação ao permitirem a junção de várias operações numa só posição da peça (Figura 35).



Figura 34 – Exemplo de ferramenta de posicionamento de fixação modular



Figura 35 – Exemplo de ferramenta de posicionamento de fixação permanente

- **Ferramentas de Corte e Acessórios**

As ferramentas de corte quando não estão armazenadas nas máquinas são guardadas nos armários em prateleiras sem qualquer tipo de identificação (Figura 36). Para além disso, não há separação das ferramentas por função, e também não há separação entre as que são fabricadas na empresa e as que são adquiridas a fornecedores. Esta prática dificulta a rápida localização de ferramentas. O controlo do consumo e do seu estado de conservação também ficam comprometidos, não havendo uma pessoa responsável por essa verificação.



Figura 36 – Disposição atual das ferramentas de corte

O mesmo se aplica relativamente à arrumação dos acessórios das ferramentas (pinças, porta-ferramentas) que são distribuídos pelas prateleiras dos armários sem qualquer tipo de ordem.



Figura 37 – Armário das pastilhas de corte



Figura 38 – Disposição atual das pastilhas no armário

A falta de pastilhas de corte é outro problema que ocorre com alguma frequência, com influência sobre o tempo de maquinação, obrigando por vezes a paragens na produção, e podendo também gerar atrasos no *setup*. Atualmente, para a troca de pastilhas, o operador dirige-se ao armazém e a única informação que leva para o pedido é o material a maquinar. No armazém de acessórios, a pastilha é procurada através da comparação da geometria da pastilha danificada com as pastilhas novas. A somar à dificuldade desta tarefa, muitas vezes a pastilha não está disponível. Segundo os responsáveis do armazém, a partilha de informação antecipada, nomeadamente em relação ao stock de pastilhas necessário para uma determinada semana, seria fundamental para melhorar todo este processo. Como se pode ver pelas figuras

37 e 38, as pastilhas possuem um armário próprio para a sua arrumação no armazém, onde estão organizadas por tipo de material.

Foi constatado que o armário já não possui muito espaço para o armazenamento de outros tipos de pastilhas que venham a ser necessários.



Figura 39 – Exemplo de desarrumação na gaveta de uma bancada

As pastilhas de corte usadas não têm um recipiente próprio para a sua colocação, sendo frequentemente encontradas ao longo das prateleiras, mesas de trabalho e gavetas, o que gera confusão na operação de troca por pastilhas novas (Figura 39).



Figura 40 – Presetter de ferramentas de corte

Sempre que as ferramentas são localizadas fora do *magazine* das máquinas devem ser medidas, recorrendo ao paquímetro para a medição do diâmetro e à fita métrica para o comprimento. No centro Mazak apenas o diâmetro é medido, uma vez que a máquina está equipada com sistema de *tool-setting*, por sensor de contacto, para medição automática do comprimento da ferramenta.

Como podemos observar na Figura 40, está disponível no setor um *presetter* com projetor ótico, para pré-ajuste das ferramentas. Este equipamento possibilita o ajuste prévio das ferramentas fora da máquina com elevada precisão, podendo os dados de correção ser transferidos para o programa. No entanto, raras são as vezes em que os operadores recorrem a este instrumento. Duas razões podem explicar a subutilização verificada: falta de

conhecimento dos operadores em relação às vantagens que este equipamento pode proporcionar e a disposição da cabine onde se encontra instalado.

- **Instrumentos de Medição**

Para o armazenamento dos instrumentos de medição existem armários dedicados no gabinete da qualidade. No entanto, após terminar uma medição com instrumentos como um relógio-comparador, um micrômetro ou um padrão de rosca, estes são deixados sem qualquer tipo de proteção sob as superfícies de apoio das máquinas ou nas mesas de trabalho, mantendo-se nesses locais durante alguns dias, mesmo que não estejam a ser utilizados (Figuras 41 e 42). Isto causa problemas na localização destes instrumentos, assim como prejudica a sua conservação.



Figura 41 – Instrumentos de medição deixados ao acaso numa mesa de apoio



Figura 42 – Instrumentos de medição deixados ao acaso junto da máquina

- **Documentação de Ordem Técnica**

Algumas peças não apresentam informação de base completa, nomeadamente dossiers/fichas de instruções de montagem da ferramenta de posicionamento e de orientação da peça. Muitas vezes o operador tem dificuldades em executar uma montagem porque não tem o apoio de documentos considerados importantes como fotografias da montagem da ferramenta e da peça. Mesmo nas peças que possuem estes dados, a fotografia não vem com legenda associada à fase de maquinação, o que dificulta o trabalho, podendo em alguns casos originar montagens incorretas (Figura 43).

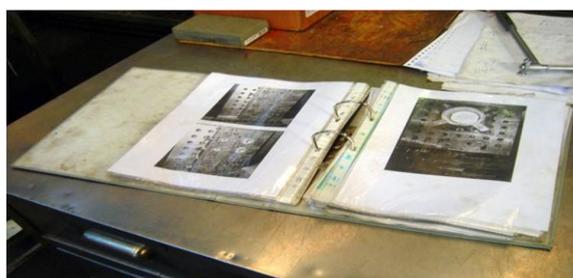


Figura 43 – Dossier de uma máquina

A falta de informação é um dos fatores principais de desperdício de tempo, principalmente quando se está perante um *setup* anteriormente executado.

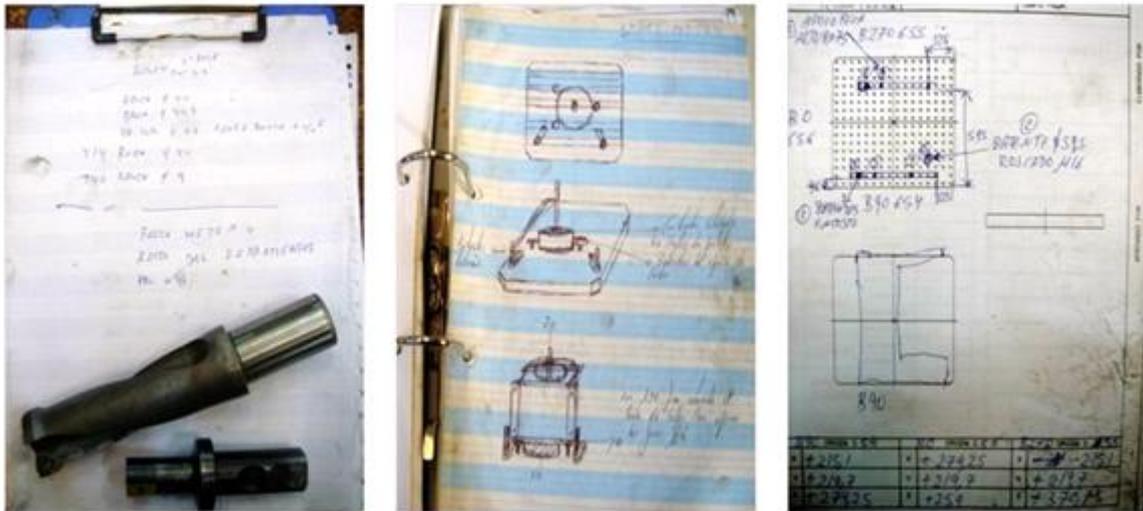


Figura 44 – Exemplo de documentação em uso

Muita da documentação de trabalho relacionada com o modo operatório e lista de ferramentas é baseada nas notas dos operadores, não havendo o cuidado de se registarem as informações em documentos adequados (Figura 44). Não havendo um padrão para o procedimento de registo da informação, esta varia de operador para operador, o que acaba por prejudicar a preparação do trabalho.

- **Programação**

Os programas CNC, atualmente, são efetuados manualmente em papel, sendo depois digitados diretamente na máquina, através do painel de controlo. Alguns programas estão registados em formato texto eletrónico (.txt), mas grande parte deles está armazenada apenas nas máquinas, que neste momento se encontram perto do seu limite máximo de memória. Por este motivo, o operador pode ser obrigado a eliminar um programa para que outro possa ser gravado, situação que tanto pode prejudicar um *setup* externo como um interno, e eventualmente pode ter repercussões futuras caso o programa, que foi eliminado, volte a ser necessário. Foi observado, durante um *setup*, o operador a copiar um programa da máquina para uma folha de papel (Figura 45) e depois a digitá-lo novamente noutra máquina, porque não existia outro tipo de registo. Esta situação pode agravar-se quando o programa é demasiado extenso no número de linhas, podendo levar o operador a cometer alguns erros ao copiar e ao digitar.



Figura 45 – Programa CNC escrito em papel

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC

Outro fator que origina perda de tempo é a falta do número do programa na ordem de fabrico (Figura 46), que nem sempre surge junto da operação, obrigando o operador a procurar nas listas disponíveis nos dossiers das máquinas ou pelos rótulos das disquetes, no caso dos tornos.



Figura 46 – Boletins de tempo com e sem programa

Nos tornos CNC o programa é introduzido via suporte externo (RS232), estando os programas armazenados em disquetes, que por sua vez estão guardadas num armário no gabinete de métodos (Figura 47). Sempre que o operador muda de programa, tem que se deslocar ao gabinete para procurar a disquete. Para além do tempo da deslocação, acresce por vezes o facto de o operador levar algum tempo a identificar o programa dada a má arrumação das disquetes (cópias misturadas com *backups*) e o estado de conservação dos seus rótulos, que as torna quase ilegíveis (Figura 48).



Figura 47 – Disposição atual das disquetes de armazenamento dos programas dos tornos



Figura 48 – Estado de conservação das etiquetas de identificação das disquetes

Atualmente, para os centros de maquinação não existe sistema de transmissão de programas.

Outro exemplo da desorganização a nível dos programas CNC pode ser constatado pela observação da Figura 49. No painel de controlo da máquina Mazak estão listados 3 programas com números diferentes mas com descrição exatamente igual, o que naturalmente vai causar dúvidas ao operador no momento de seleccionar o programa desejado.

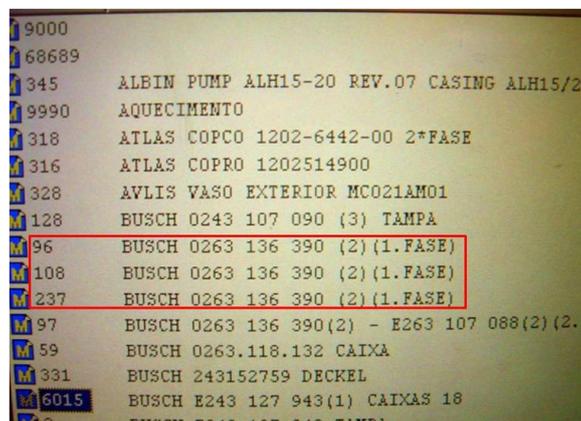


Figura 49 – Lista de programas no painel de controlo do centro Mazak

- **Execução de Protótipos**

A falta de informação na abordagem a uma peça nova atrasa ainda mais o *setup*, que já de si é sempre mais demorado, principalmente quando o operador é responsável pela redacção do novo programa. Durante a maquinação da 1ª peça o operador vai alterando o programa conforme achar mais adequado, podendo a peça servir apenas para uma fase de teste.

- **Outros Problemas**

Durante as observações efetuadas foram surgindo pontualmente outros problemas que, ainda que de forma mais ou menos intensa, perturbaram igualmente o processo de *setup* e contribuíram para a variabilidade do processo.

Desenho

A inexistência de uma cota importante no desenho, a não indicação de cotas mais importantes a controlar, ou a não informação de uma alteração efetuada pelo cliente, podem colocar dúvidas ao operador. Por vezes é o próprio operador que tem que localizar o desenho, uma vez que este não vem juntamente com a ordem de fabrico.

Avárias em Equipamentos

Avaria da ponte-rolante, impedindo o transporte de ferramentas ou peças mais pesadas.

Alteração na Sequência das Ordens de Fabrico

O lançamento de um trabalho urgente, não previsto no plano semanal, obrigou à interrupção do trabalho que estava em curso para se iniciar uma nova preparação.

Atraso na Chegada de Matéria-Prima

A falta do lote a maquinar junto do posto de trabalho, no momento em que se inicia o *setup*, obrigou o operador a deslocar-se ao armazém. Em alguns casos, é foi o operador a transportar as peças para junto da máquina.

Espera por Pessoas

O tempo de espera por responsáveis da qualidade ou supervisores varia consoante a disponibilidade de cada um, o que faz com que o operador tenha que aguardar.

4.6. Análise dos Tempos de Setup Medidos

Dos *setups* analisados foram selecionados aqueles que permitiram observar melhor a variabilidade das fases do processo e que de uma forma geral mostram os problemas verificados. Foi criada uma ficha de medição (Ver Figura 50) e a partir da definição das fases do *setup* foram efetuadas medições nos 3 centros de maquinação, por ser nestas máquinas que os problemas ocorrem com mais frequência. Como o Gráfico 1 mostra, no conjunto destas medições, a variação do tempo de *setup* pode entre 1,2 horas e 16 horas, ocupando este o tempo de 1 dia de trabalho.

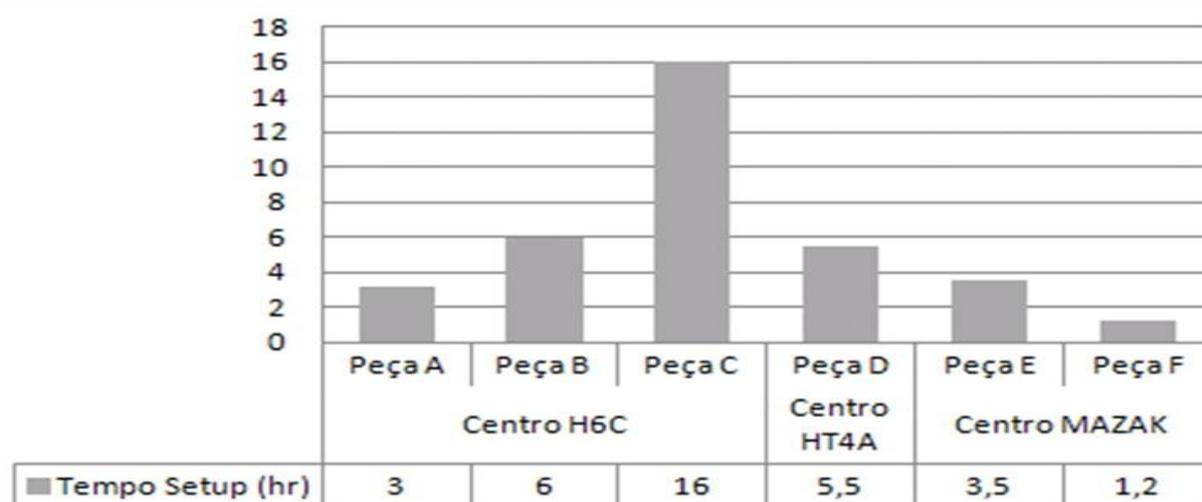


Gráfico 1 – Tempos de setup medidos

Através de uma análise mais detalhada (Gráfico 2) observa-se que nos tempos de *setup* registados, as fases de movimento do operador, de mudança de ferramentas e de afinação são as que consomem mais tempo. O tempo despendido, principalmente na fase de afinação, explica por si só a variação do processo uma vez que está dependente de um fator crucial como o modo operatório da maquinação. Como tal, torna-se difícil estabelecer um tempo de *setup* médio. A fase de mudança de ferramentas é normalmente realizada em *setup* interno, porque não é realizada uma preparação prévia, e muitos dos problemas, como a falta de uma fresa ou de uma pastilha, são detetados com a máquina parada.

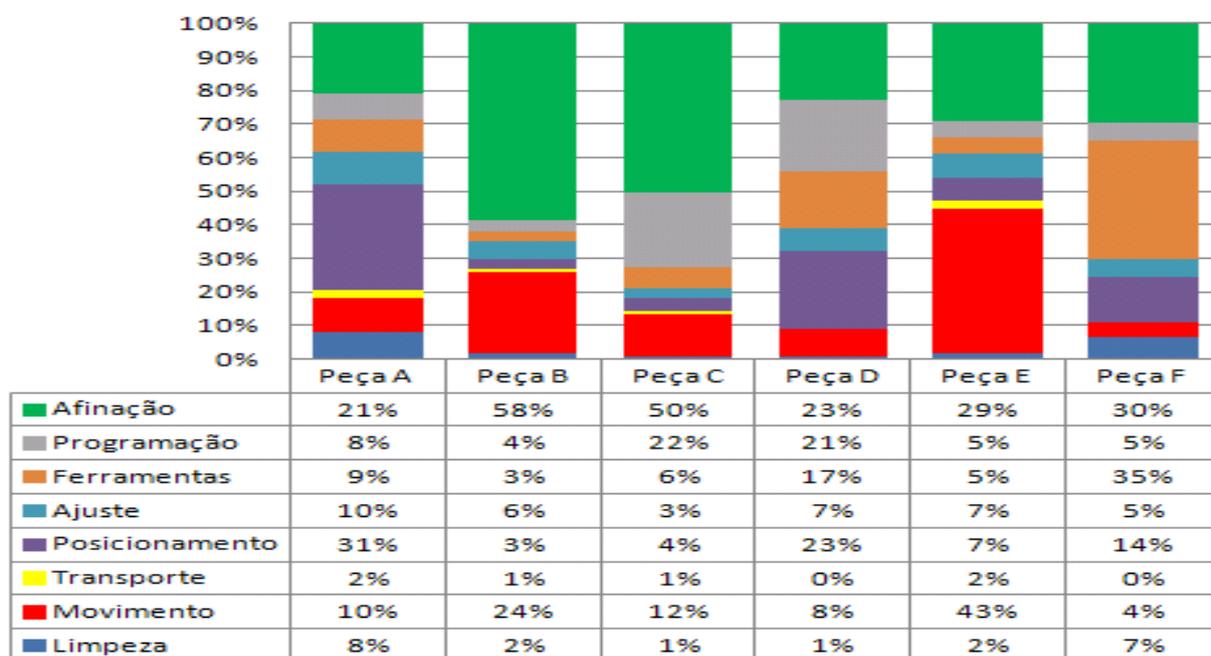


Gráfico 2 – Percentagem das fases que compõem o setup

Na fase de movimento do operador não só são registadas todas as deslocações relacionadas com o *setup* a ser medido, mas também com outras tarefas, uma vez que o operador durante um *setup* pode estar ocupado com a mudança de peças na mesma ou noutra máquina, praticando assim o conceito de célula produtiva, política da empresa.

FORMULÁRIO DE ANÁLISE DE SETUP				
Máquina	MITSUI SEIKI H6C		Fase	
Peça	Peça B		Código da Peça	
Cliente			Data	14-11-2011
Operador	4		Hora Início	15h30
No.	ACTIVIDADE	TEMPO [min]	FASE	NOTAS
1	Retirar ferramenta posicionamento anterior	6,0	Posicionamento	
2	Limpar ferramenta posicionamento anterior	2,0	Limpeza	
3	Arrumar ferramenta posicionamento anterior	3,0	Transporte	
4	Medir diâmetro e comprimento de ferramentas	5,9	Mudança Ferramentas	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Figura 50 – Vista parcial do formulário de análise de setup elaborado

4.6.1. Afetação dos Problemas Observados aos Setups Analisados

A variedade de formas a maquina, como já foi referido, implica uma grande variação nos tempos de *setup* de peça para peça, como se pode constatar pela elevada percentagem da fase de afinação nos *setups* analisados (ver Anexo C). No entanto, muitos dos problemas

observados, são comuns a muitos *setups* e não apresentam qualquer relação com a geometria das peças.

Afinação

A Peça B envolve uma só fase de maquinação, enquanto as operações da Peça A são divididas por duas fases, tendo sido analisado o *setup* da 1ª fase, como aliás serviu de exemplo já neste capítulo. Atendendo ao número de operações envolvidas nestas duas peças, explica-se a diferença de tempos aqui envolvida. O modo operatório da Peça A é composto por 4 operações e envolveu um tempo de afinação de 40 minutos e o da Peça B por 13 operações com um tempo de afinação de 240 minutos.

Posicionamento

Na Peça A a ferramenta de posicionamento utilizada é do tipo modular, sendo necessários cerca de 60 minutos para a sua montagem. Este tipo de montagem obriga o operador a ter que recorrer a um esboço por si elaborado da ferramenta montada, para corrigir cotas e posições dos vários acessórios, para além de ter que procurá-los no armário uma vez que a ferramenta não é armazenada com todos os seus componentes.

Movimento do Operador

O trabalho do operador no *setup* da Peça B foi partilhado com outras duas tarefas: troca de peças num dos tornos e troca na mesma máquina em que estava a realizar a preparação, uma vez que na outra mesa estava em curso outra série. Todas as deslocações relacionadas com estas duas tarefas, e não com o *setup* em causa, foram incluídas na fase de movimento do operador. No *setup* da Peça E observou-se a mesma situação. Isto acontece com frequência principalmente no 2º turno, que não tem operador para os tornos. Como só existem 2 operadores por turno para os centros, é normal ver um operador ocupado com 2 máquinas, ou até 3, no caso do outro faltar. A realização de trabalhos em paralelo pode trazer as suas vantagens, mas se atentarmos somente ao tempo de *setup*, este vai ser claramente maior.

Programação

Na Peça C a elevada percentagem de tempo despendida na fase de programação, resultou de uma alteração tardia do planeamento das ordens de fabrico, por ser necessário produzir um lote com urgência, e na conseqüente demora na procura do programa. O programa estava apenas registado na máquina onde anteriormente tinha sido realizado o trabalho, levando o operador a ter que o copiar para uma folha de papel e depois digitá-lo na máquina onde a peça ia ser produzida. Como o programa era constituído por um elevado número de linhas, este passo consumiu demasiado tempo, para além de contribuir para um acréscimo da fadiga do operador.

Mudança de Ferramentas

As peças D e F mostram que a mudança de ferramentas foi uma das fases que mais tempo exigiu. Embora as máquinas estejam equipadas com *magazine*, o que permite uma fácil localização das ferramentas, esta fase é quase sempre realizada em *setup* interno, não havendo uma preparação antecipada. Muitos dos problemas verificados, como a falta de uma broca, de um suporte ou de uma pastilha, surgem no momento em que o operador se prepara para maquinar a 1ª peça. A pré-ajustagem das ferramentas é feita manualmente não favorecendo a redução do tempo de *setup* interno.

4.6.2. Análise de Custos

Com base no custo hora/máquina estipulado pela empresa foi calculado e representado na Tabela 2 o custo total de cada *setup* analisado. Foram destacadas as fases críticas referenciadas no ponto anterior, para mostrar o impacto da fase de afinação no tempo de *setup* e o prejuízo que as outras fases podem representar se não forem tomadas medidas para possíveis alterações.

Tabela 2 – Custo dos setups medidos

SETUP	Custo Hora/Máquina (€/h)	Fase Crítica	Custo no Setup (€)	Custo Total do Setup (€)
Peça A	40	Posicionamento	40	127
		Afinação	26	
Peça B	40	Movimento	69	276
		Afinação	157	
Peça C	40	Programação	140	640
		Afinação	326	
Peça D	40	Ferramentas	40	237
		Programação	50	
		Afinação	54	
Peça E	40	Movimento	60	140
		Afinação	40	
Peça F	40	Ferramentas	17	49
		Afinação	15	
		TOTAL	1034	1469

Pode concluir-se através da análise da Tabela 2 que o custo de *setup* é variável, podendo oscilar entre 49€ e 640€. Como é previsível que a produção das peças analisadas se repita ao longo do ano, e se os problemas observados se mantiverem, os custos serão consideravelmente maiores.

5. Soluções Propostas

Após as fases de estudo do processo e levantamento de problemas, complementadas com a respectiva pesquisa bibliográfica, foram elaboradas propostas de melhoria para resolver os problemas detetados, apoiadas nas seguintes metodologias:

- Metodologia 5S
- Metodologia SMED
- Controlo Visual

5.1. Soluções no Âmbito da Metodologia 5S

Dada a evidência da desorganização dos locais de armazenamento de materiais e de apoio ao trabalho, uma intervenção a este nível torna-se prioritária. A aplicação da metodologia 5S visa reduzir todo o material existente nos postos de trabalho que não seja necessário ao *setup*, e posteriormente reorganizar tudo o que se considera indispensável ao seu bom funcionamento.

Após se ter sensibilizado os operadores para a importância da reorganização dos postos de trabalho e para as vantagens que esta ação trará para o trabalho de cada um, deu-se início ao primeiro passo do Programa 5S.

Por uma questão de simplificação e organização decidiu-se dividir a aplicação do primeiro passo por duas áreas problemáticas: num primeiro momento a aplicação do método iria incidir sobre os armários e mesas de apoio das ferramentas manuais e de corte, e posteriormente nas estantes das ferramentas de posicionamento e seus acessórios.

Aplicação do 1º Passo 5S nos Armários e Mesas de Apoio das Ferramentas Manuais e de Corte – Seiri (Organização)

Com este passo pretende-se separar os itens necessários ao trabalho dos que não são necessários. Para a triagem foram colocados três recipientes num espaço central do setor, para que os operadores, ao longo de duas semanas, retirassem dos armários e mesas de apoio todos os materiais que considerassem desnecessários. Desta forma, não foi necessário parar a produção, e os operadores aproveitaram tempos mortos para a execução desta tarefa.

Na figura 50 podemos observar os recipientes onde, no caixote da esquerda, identificado como *Material Pouco Utilizado*, foram colocados itens fora de uso há mais de um ano, mas que eventualmente podem ainda vir a ser necessários esporadicamente. No caixote da direita, identificado como *Material Inutilizado*, foram colocados itens inúteis, como lixo, ferramentas danificadas ou outro tipo de material que não será mais necessário, e na caixa foram colocadas pastilhas usadas que se encontravam espalhadas pelas prateleiras e gavetas. Assim, foi possível observar o que estava a ser retirado, permitindo a qualquer funcionário do setor alertar para o caso de encontrar algum item com utilidade.



Figura 51 – Implementação do 1º passo 5S nos armários e mesas de apoio

Terminada a fase de triagem, os caixotes foram colocados numa zona disponível da fábrica de forma a ser libertado espaço no setor. Posteriormente, o material retirado será analisado e confirmado se está realmente fora de utilização, ou se ainda poderá ser útil no futuro e ser recolocado no setor.

Depois de verificado o espaço físico disponível, resultante da limpeza e da retirada de material, estão criadas as condições para se reorganizarem os itens necessários ao *setup* com a introdução do segundo passo 5S.

Aplicação do 2º Passo 5S nos Armários e Mesas de Apoio das Ferramentas Manuais e de Corte – Seiton (Ordem e Padronização)

Este passo está diretamente associado aos princípios do controlo visual. Com a sua aplicação pretende-se colocar de forma correta todos os itens necessários ao *setup*, agrupando-os por tipo. São definidos locais próprios para a sua colocação, identificados por etiquetas, permitindo que os itens sejam localizados de forma rápida.

Com um lugar definido para as ferramentas manuais e de corte o operador vai ter o seu trabalho facilitado ao localizá-las rapidamente, assim como vão ser facilitados os trabalhos seguintes quando as mesmas ferramentas forem recolocadas pelo operador no respetivo lugar. Esta disposição sistemática dos itens vai possibilitar a organização permanente e a prática de ações que facilitem o trabalho durante o *setup*, através da identificação de locais, tarefas e materiais.

Tal como foi abordado no capítulo da fundamentação teórica, a implementação desta metodologia pode levar algum tempo até ser concluída. No entanto, a aplicação do primeiro passo começa desde cedo a produzir os seus efeitos, como se pode ver pela figura 52.



Figura 52 – Bancada antes e após a implementação do 1º passo 5S

Aplicação do 1º Passo 5S nas Estantes de Ferramentas de Posicionamento e seus Acessórios – Seiri (Organização)

Dada a desorganização que esta área apresenta e a quantidade de ferramentas existentes, com elevados pesos e dimensões, este passo é de mais difícil execução. No entanto, tendo em conta que as estantes já se encontram identificadas (Figura 53) e que existe uma tabela para a localização de ferramentas, embora incompleta, a tarefa está simplificada e passará por uma reformulação. Abordando uma estante de cada vez, será necessário retirar todas as ferramentas e separar as que ainda estão em uso das que já não são necessárias ou se encontram danificadas (Figuras 54 e 55).



Figura 53 – Identificação atual das estantes das ferramentas de posicionamento

Aplicação do 2º Passo 5S nas Estantes de Ferramentas de Posicionamento e seus Acessórios – Seiton (Ordem e Padronização)

Definidas as ferramentas que vão ser arrumadas, estas serão organizadas e arrumadas por cliente e etiquetadas com a respetiva localização (Figura 65). A tarefa seguinte passará pela verificação das identificações (gravações na base da ferramenta) e pela construção de uma

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC

nova tabela de localizações. Esta tabela será depois afixada num quadro informativo, colocado numa zona central do setor, para ser consultada pelos operadores e permitir uma rápida localização das ferramentas.

A localização da ferramenta deverá ser indicada na ordem de fabrico e a ferramenta, quando for retirada da máquina, deverá ser colocada na sua localização, evitando-se a acumulação de ferramentas no chão em redor das máquinas (Figura 56).



Figura 54 – *Disposição das ferramentas de posicionamento numa paleta*



Figura 55 – *Disposição das ferramentas de posicionamento na estante*



Figura 56 – *Ferramentas de posicionamento após implementação do 1º passo 5S*

Ao mesmo tempo, os acessórios das ferramentas de posicionamento também serão alvo dos dois passos anteriores.

Depois de aplicados o 1º e 2º passo 5S, será possível aplicar os restantes passos nas duas áreas em simultâneo (Ver ponto 3.3.1).

5.2. Soluções no Âmbito da Metodologia SMED

A aplicação de soluções relacionadas com a Metodologia SMED pretende visar tarefas internas ao *setup*, por forma a reduzir as tarefas que são executadas com a máquina parada. Inicialmente serão abordadas soluções a aplicar antes do SMED, que passam pela reorganização das tarefas externas, para depois se apresentarem outras soluções de melhoria ao SMED já aplicado.

5.2.1. Solução Pré-SMED

Foi observado durante este projeto que muitas das tarefas que podem ser antecipadas são realizadas apenas depois da conclusão de uma série, ou seja, com a máquina parada, e é precisamente esse problema que a aplicação do SMED pretende visar. Todas as tarefas que se apresentam na Figura 57 podem ser antecipadas, ou seja, podem ser consideradas como tarefas externas.

Tarefas Externas a Cargo do Operador
<ul style="list-style-type: none">• 1. Retirar ferramenta de posicionamento anterior• 2. Limpar ferramenta de posicionamento retirada• 3. Limpar mesa da máquina• 4. Arrumar ferramenta de posicionamento retirada• 5. Fechar ordem de fabrico• 6. Abrir nova ordem de fabrico• 7. Ir ao armazém pedir novo lote• 8. Preparar fichas de instruções• 9. Localizar nova ferramenta de posicionamento• 10. Transportar nova ferramenta de posicionamento para junto da máquina• 11. Preparar acessórios da ferramenta de posicionamento• 12. Preparar ferramentas manuais• 13. Localizar ferramentas de corte• 14. Aferir ferramentas de corte• 15. Posicionar nova ferramenta de posicionamento• 16. Apertar nova ferramenta de posicionamento• 17. Posicionar nova peça• 18. Apertar nova peça• 19. Introduzir ferramentas de corte no magazine da máquina• 20. Introduzir dados das ferramentas de corte no comando da máquina

Figura 57 – Lista de tarefas a realizar atualmente pelo operador

As restantes tarefas que compõem o *setup* só podem ser realizadas com a máquina parada. Então, como *setup* interno, haverá ainda uma parte da fase de programação já no interior da máquina, nomeadamente a execução do ponto-zero da peça e, por fim, a fase de afinação para a 1ª maquinação.

Atualmente, todas as tarefas referidas estão a cargo de um operador, que é responsável pelo *setup* da máquina em que está a operar. Só no caso de um não chegar para realizar a tarefa é que se recorre a um segundo operador.

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC

É muito comum ver o operador a deslocar-se pela fábrica. No diagrama de circulação (Ver Anexo D), pode-se observar, através da linha a tracejado vermelho, as deslocações que atualmente o operador tem de fazer para realizar tarefas como:

- ✓ Requisitar pastilhas novas e ferramentas no armazém de acessórios;
- ✓ Recuperar ferramentas de corte na esmeriladora;
- ✓ Solicitar novo lote no armazém de matéria-prima (e por vezes ser o próprio operador a transportá-lo até ao posto de trabalho);
- ✓ Procurar fichas de instruções e pedir informações a supervisores, no gabinete de métodos.
- ✓ Levantar instrumentos de medição no gabinete da qualidade;
- ✓ Levar peça ao gabinete da qualidade para controlar.

Dado o elevado número de tarefas afetas a um só operador, a inclusão de um preparador de trabalho no setor CNC poderá trazer vantagens ao nível da redução de tempos de paragem de máquinas e da eficiência e produtividade do setor.

O preparador de trabalho terá também como função realizar, com base no plano de entregas, uma previsão de todo o material necessário para os artigos a maquinar nas 2 semanas seguintes, o que não acontece atualmente, resultando em paragens ou adiamentos na produção por falta de material. Desta forma, os pedidos de compras podem ser desencadeados mais cedo, conforme as necessidades.

A repartição de tarefas entre o operador e o preparador de trabalho permitirá ao primeiro concentrar-se apenas em operações na sua zona de atividade. Deste modo, será mais aceitável que o operador se ocupe também com outra máquina que se encontre em produção, o que se traduzirá numa maior disponibilidade homem/máquina.

Para que a atividade do operador se concentre somente no seu setor, sugere-se a seguinte repartição de tarefas entre operador e preparador de trabalho (Figura 58):

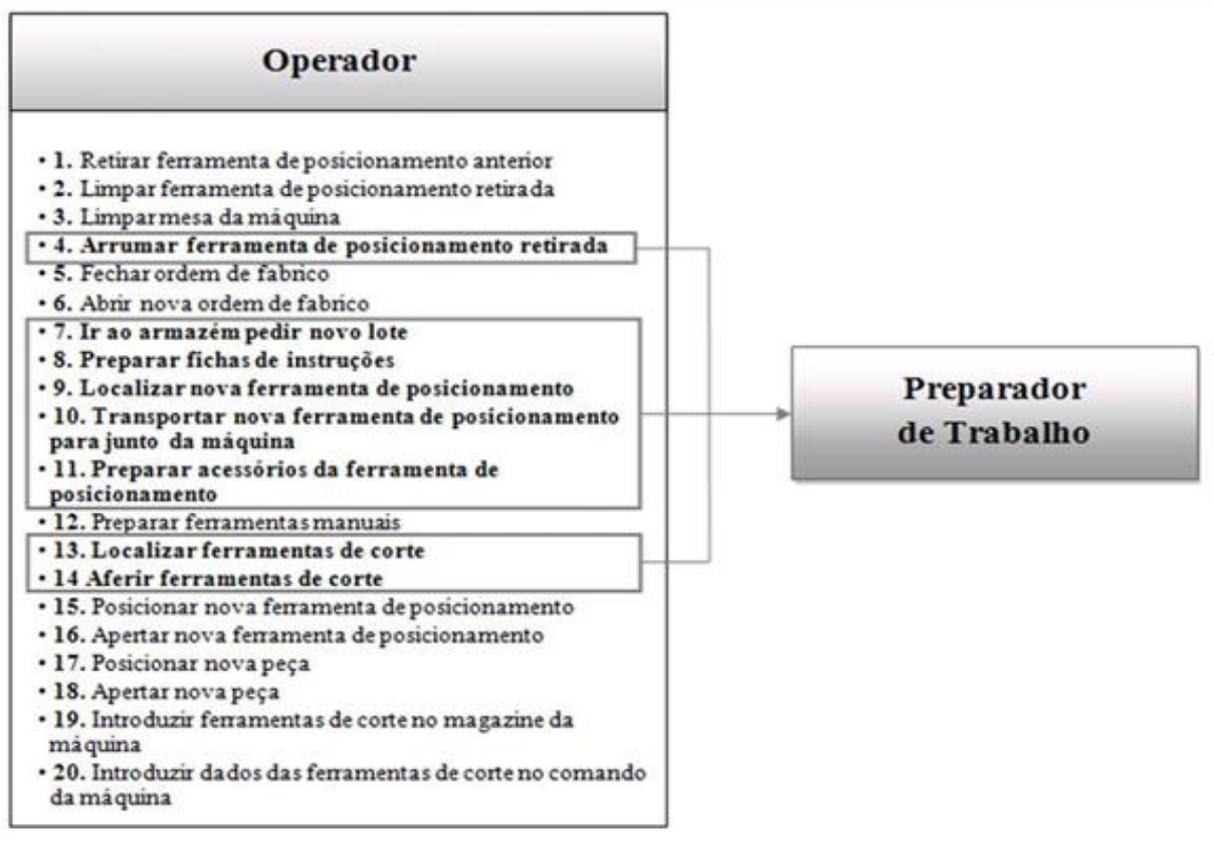


Figura 58 – Tarefas a distribuir pelo preparador de trabalho

Durante o *setup* as tarefas a cargo do preparador de trabalho terão que ser realizadas antecipadamente de tal forma que sejam garantidos, fundamentalmente, os seguintes procedimentos:

- ✓ Documentação técnica associada à peça (ordem de fabrico e conjunto de fichas de instruções) na bancada do operador, no momento da abertura da operação;
- ✓ Novo lote junto da máquina, no momento da abertura da operação;
- ✓ Instrumentos de medição necessários ao trabalho no momento da abertura da operação;
- ✓ Ferramenta de posicionamento, com os respetivos acessórios incluídos, no momento em que o operador se prepara para a fixar na máquina;
- ✓ Ferramentas de corte devidamente preparadas no momento em que o operador as vai introduzir no magazine;

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC

- ✓ Presença de um funcionário da qualidade junto da máquina no final da maquinação da 1ª peça, para controlo dimensional, ou ser o preparador de trabalho a transportar a peça a medir até ao gabinete da qualidade.

Para serem localizadas rapidamente as ferramentas a utilizar ou as utilizadas no *setup*, seriam definidos locais próprios e devidamente identificados para a sua colocação. Para além da máquina e da bancada de trabalho do operador, seriam então criados os seguintes novos espaços no posto de trabalho:

Antes da Maquinação:

- ✓ Zona de colocação do lote a maquinar, num espaço delimitado;
- ✓ Zona de colocação de ferramentas de corte a utilizar, numa mesa ou num dos armários auxiliares;
- ✓ Zona de colocação da ferramenta de posicionamento e seus acessórios a utilizar, numa mesa auxiliar. Um espaço que permita, quando possível, deixar a ferramenta já pré-montada com a peça incluída, e evitar a colocação de ferramentas no chão (Figura 59);
- ✓ Zona de colocação da documentação técnica, de preferência numa superfície limpa para evitar a sujidade dos documentos.



Figura 59 – Ferramentas de posicionamento colocadas no chão

Depois da Maquinação:

- ✓ Zona de colocação do lote concluído, num espaço delimitado. Na figura 60, pode-se observar que a zona de colocação dos lotes não está devidamente marcada.
- ✓ Zona de colocação da ferramenta de posicionamento e acessórios a arrumar;



Figura 60 – Falta de marcações no chão para colocação dos lotes

Concluída a fase de conversão das tarefas internas em externas, e da reorganização destas, estão reunidas as condições para se verificarem quais os resultados obtidos através da implementação do SMED.

5.2.2. Implementação do SMED

Peça A

Recuperando o exemplo do setup da Peça A, apresenta-se na tabela 3 o impacto gerado pela solução *pré-SMED* apresentada.

Tabela 3 – Implementação da solução *pré-SMED* no setup da Peça A

No.	Tarefas Peça A	Tempo [min.]	Operador	Preparador	Tempo [min.]
1	Retirar ferramenta posicionamento anterior	5	X		5
2	Limpar ferramenta posicionamento anterior	8	X		8
3	Arrumar ferramenta posicionamento anterior	1		X	0
3	Fechar ordem de fabrico	0,5	X		0,5
4	Abrir nova ordem de fabrico	0,5	X		0,5
5	Localizar nova ferramenta posicionamento	5		X	0
6	Transportar nova ferramenta de posicionamento até junto da máquina	3		X	0
7	Limpar nova ferramenta de posicionamento	4		X	0
8	Preparar acessórios da ferramenta de posicionamento	10		X	0
9	Limpar mesa da máquina	3	X		3
10	Posicionar nova ferramenta de posicionamento	3	X		3
11	Apertar nova ferramenta de posicionamento	50	X		50
12	Posicionar nova peça	2	X		2
13	Apertar nova peça	19	X		19
14	Localizar ferramentas de corte	4		X	0
15	Aferir ferramentas de corte	14		X	0
16	Introduzir ferramentas de corte no magazine da máquina	4	X		4
17	Introduzir dados das ferramentas de corte no comando da máquina	15	X		15
18	Maquinagem da 1ª peça	40	X		40
TOTAL		191			150

A tabela 3 mostra-nos que, no caso da Peça A, com a inclusão de um preparador de trabalho, o tempo de *setup* seria reduzido em 41 minutos, cerca de 21,47% do total.

Analisando a tabela tarefa a tarefa, verifica-se que a tarefa 11 se apresenta como a tarefa crítica, não podendo ser abrangida pela solução apresentada uma vez que as montagens ficam sempre a cargo do operador.

Posteriormente, ainda neste capítulo, serão apresentadas soluções que se podem aplicar depois de o SMED estar implementado, de forma a ser possível reduzir ainda mais o tempo de *setup* obtido. Uma dessas soluções vai ter como alvo o tempo elevado da tarefa 11.

Peça B

Na análise da Peça B, que inicialmente apresentava um tempo de *setup* de 406 minutos, foram retiradas todas as tarefas associadas a outras máquinas que o operador realizou em paralelo com esta preparação (cerca de 93 minutos). Com a eliminação destas tarefas, que representavam aproximadamente 24% do total, o tempo de *setup* passou a ser de 313 minutos.

No entanto, a redução obtida com a inclusão de um preparador de trabalho para a execução de parte das tarefas externas não foi tão significativa, sendo possível perceber a influência que o tempo de maquinação tem no processo de *setup*. Como se pode ver na tabela 4, a redução conseguida foi de 4,4% (313 minutos para 299 minutos). O tempo de maquinação tem um peso de 76,7% no tempo total deste *setup*.

Tabela 4 – Implementação da solução pré-SMED no *setup* da Peça B

No.	Tarefas Peça B	Tempo [min.]	Operador	Preparador	Tempo [min.]
1	Retirar ferramenta posicionamento anterior	6	X		6
2	Limpar ferramenta posicionamento anterior	2	X		2
3	Arrumar ferramenta posicionamento anterior	3		X	0
4	Localizar ferramentas de corte	2		X	0
5	Aferir ferramentas de corte	6		X	0
6	Introduzir ferramentas de corte no magazine da máquina	2	X		2
7	Fechar operação anterior	2	X		2
8	Localizar nova ferramenta de posicionamento	1		X	0
9	Abrir nova operação	1	X		1
10	Transportar nova ferramenta de posicionamento até junto da máquina	1		X	0
11	Limpar mesa da máquina	6	X		6
12	Limpar nova ferramenta de posicionamento	1		X	0
13	Posicionar nova ferramenta de posicionamento	4	X		4
14	Apertar nova ferramenta de posicionamento	6	X		6
15	Posicionar nova peça	4	X		4
16	Apertar nova peça	16	X		16
17	Introduzir dados das ferramentas de corte no comando da máquina	10	X		10
18	Maquinagem da 1ª peça	240	X		240
TOTAL		313			299

As reduções conseguidas com a reorganização das tarefas externas nas restantes peças, analisadas encontram-se resumidas na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos após implementação da solução pré-SMED nas restantes peças

Peças	Tempo Setup S/Solução Pré-SMED [min.]	Tempo Setup C/Solução Pré-SMED [min.]
Peça C	960	801
Peça D	355	265
Peça E	210	125
Peça F	74	42

5.2.3. Soluções Pós-SMED

Depois da implementação do SMED, e constatadas as melhorias através dos resultados obtidos, propõem-se outras soluções para reduzir o tempo das tarefas externas com maior peso no tempo de *setup* total.

Retomando a tarefa 11 da Peça A (ver Figura 61),

No.	Tarefas Peça A	Tempo [min.]	Operador	Preparador	Tempo [min.]
10	Posicionar nova ferramenta de posicionamento	3	X		3
11	Apertar nova ferramenta de posicionamento	50	X		50
18	Maquinagem da 1ª peça	40	X		40
TOTAL		191			150

Figura 61 – Tempo afeto às tarefas de posicionamento, ajuste e afinação da Peça B (Vista parcial da Tabela 3)

o tempo de montagem da ferramenta de posicionamento representa cerca de 35% do tempo total da preparação da peça.

Como foi possível ver no capítulo anterior a ferramenta de posicionamento desta peça é do tipo modular, sendo constituída por muitos acessórios que levam a uma montagem demorada. Os 3 minutos da tarefa 10 correspondem ao tempo que o operador demora a colocar em cima da mesa da máquina todos os acessórios. Para além disso, trata-se de uma ferramenta que só permite a maquinação da 1ª fase da peça.

Assim, a criação de uma ferramenta de fixação permanente para esta peça, que permita a sua maquinação integral, vai não só trazer benefícios ao tempo de *setup*, como também ao tempo produtivo. Esta constatação é sustentada com base nos seguintes dois exemplos:

- ✓ A ferramenta de posicionamento da Peça B, de fixação permanente, permite uma montagem mais rápida, levando apenas cerca de 10 minutos para ser totalmente fixada na mesa da máquina (ver Figura 62). Comparada com a Peça A, a Peça B apresenta uma geometria muito diferente e um tempo de maquinação muito superior, mas pode dizer-se que ambas integram o leque de peças de maior dimensão que se produzem na fábrica.

No.	Tarefas Peça B	Tempo [min.]	Operador	Preparador	Tempo [min.]
13	Posicionar nova ferramenta de posicionamento	4	X		4
14	Apertar nova ferramenta de posicionamento	6	X		6
18	Maquinagem da 1ª peça	240	X		240
TOTAL		313			299

Figura 62 – Tempo afeto às tarefas de posicionamento, ajuste e afinação da Peça B (Vista parcial da Tabela 4)

- ✓ Para o modelo mais recente de uma amassadeira, em fase de protótipo, foram criadas ferramentas de fixação permanente para as peças que o constituem. Na figura 63, vê-se a peça do novo modelo, equivalente à Peça A, fixada na ferramenta. Segundo o operador que realizou esta montagem, todas as operações de fixação envolveram um tempo de cerca de 10 minutos.



Figura 63 – Ferramenta de posicionamento de uma das peças da nova amassadeira

Por analogia, pode-se então prever uma redução de cerca de 40 minutos para a preparação da Peça A com a criação de uma ferramenta de posicionamento de fixação permanente para a sua produção.

Tabela 6 – Evolução da redução do setup da Peça A

Peça	Tempo Setup S/Solução Pré-SMED [min.]	Tempo Setup C/Solução Pré-SMED [min.]	Tempo Setup C/Solução Pós-SMED [min.]
Peça A	191	150	110

Aplicadas as soluções à preparação da Peça A (ver Tabela 6), a redução conseguida no tempo de *setup*, foi de, aproximadamente, 42%.

Outras Soluções Pós-SMED

- **Dotar cada posto de trabalho com um conjunto fixo de ferramentas manuais,** depois de realizado um levantamento das que são mais utilizadas. Para o armazenamento das ferramentas é sugerido um tabuleiro com divisórias, para ser colocado na bancada de trabalho de cada posto.
- **Criação de uma ferramentaria,** para apoio exclusivo ao setor CNC. A ferramentaria será representada por um conjunto de armários, de forma a centralizar, num só local, todo o material necessário ao trabalho. Nesses armários serão criados espaços para a arrumação do seguinte material:
 - ✓ Material exclusivo de cada máquina;
 - ✓ Ferramentas de corte;
 - ✓ Acessórios das ferramentas de corte;
 - ✓ Pastilhas de corte;
 - ✓ Acessórios de fixação;
 - ✓ Documentação técnica.

As gavetas do armário que serve de apoio ao *presetter* (Figura 64 a)) encontram-se vazias e apresentam-se como um bom recurso para o armazenamento de algum do material mencionado. A organização deste e a reorganização do armário da figura 64 b) constituiriam as primeiras ações da criação da ferramentaria.

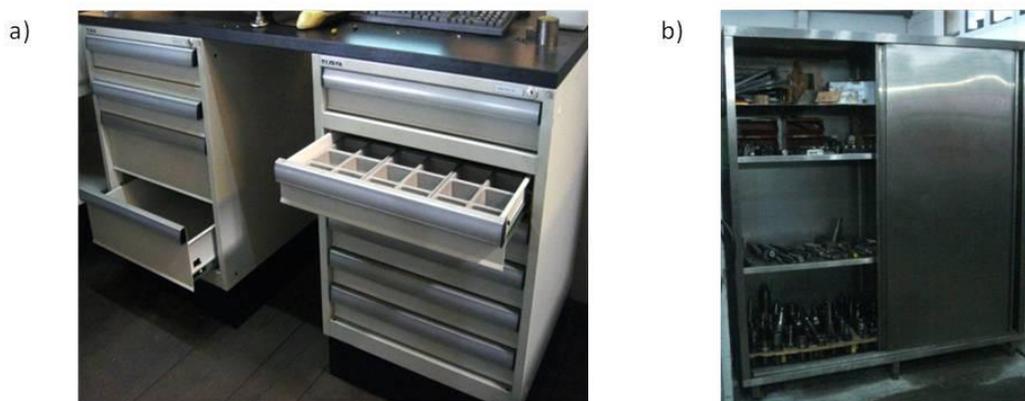


Figura 64 – a) Armário que serve de apoio ao *presetter*; b) Armário atualmente utilizado

Para o armazenamento dos vários tipos de cones das ferramentas sugere-se a criação ou a aquisição de um novo armário, de bandejas ou gavetas (Figura 65), dado que a disposição atual deste tipo de acessórios não é a mais correta.

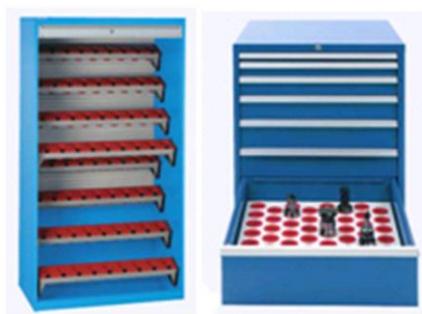


Figura 65 – Armários sugeridos para eventual aquisição (Fonte: UNCETA)

Os vários armários existentes seriam substituídos pela ferramentaria, evitando-se a dispersão do material necessário, sem lugar definido, e a acumulação de material não utilizado naqueles locais. Junto de cada máquina ficariam apenas a bancada de trabalho e uma mesa de apoio para a colocação da ferramenta de posicionamento retirada e a montar. A gestão de todo o material existente na ferramentaria ficará a cargo do funcionário auxiliar.

5.3. Soluções no Âmbito do Controlo Visual

As propostas apresentadas com base no controlo visual pretendem proporcionar um melhor controlo da produção e a redução do tempo na procura de material necessário, como já foi referido a propósito da metodologia 5S. Com a identificação dos locais, previamente definidos, para colocação do material existente, através do uso de etiquetas, operadores e funcionários terão um acesso mais rápido ao material desejado e uma melhor perceção do que existe e do que falta no setor, podendo antecipar a aquisição de material e evitar paragens na produção devido à sua falta. As propostas sugeridas são as seguintes:

- **Criar um quadro informativo a colocar numa zona central do setor**, para afixação de informação geral relativa ao setor. O plano semanal e o gráfico de eficiência dos equipamentos passariam a ser afixados neste quadro, assim como a tabela de localização das ferramentas de posicionamento, e outras tabelas relevantes, como a de roscas e tolerâncias, para permitir uma consulta rápida e fácil aos operadores.
- **Etiquetar material arrumado nos armários**, para a sua rápida localização e para que voltem a ser colocados no mesmo local depois de serem utilizados. As etiquetas serão colocadas não só nas caixas de armazenamento do material, mas também nas gavetas e nas portas dos armários. Posteriormente, a aplicação desta ação, facilitará um trabalho de inventariação do material existente.
- **Identificar outros locais do setor**, como por exemplo, os depósitos do óleo de corte e da apara, e os caixotes das peças rejeitadas. As zonas de colocação dos lotes junto das máquinas podem também ser sinalizadas, como já foi referido.

5.4. Resultados Esperados Após Implementações

Os resultados apresentados foram elaborados somente com base na solução *pré-SMED*, já que só esta etapa da metodologia permite, por enquanto, fazer estimativas dos ganhos obtidos com as soluções propostas. O programa 5S encontra-se numa fase muito precoce da sua implementação e as propostas baseadas no controlo visual visam mais a organização do setor em termos gerais, do que propriamente as preparações, daí ainda não ser possível extrair conclusões baseadas nestas propostas.

No gráfico seguinte é possível observar as reduções conseguidas nos tempos de *setup* medidos, após a implementação da solução *pré-SMED*:

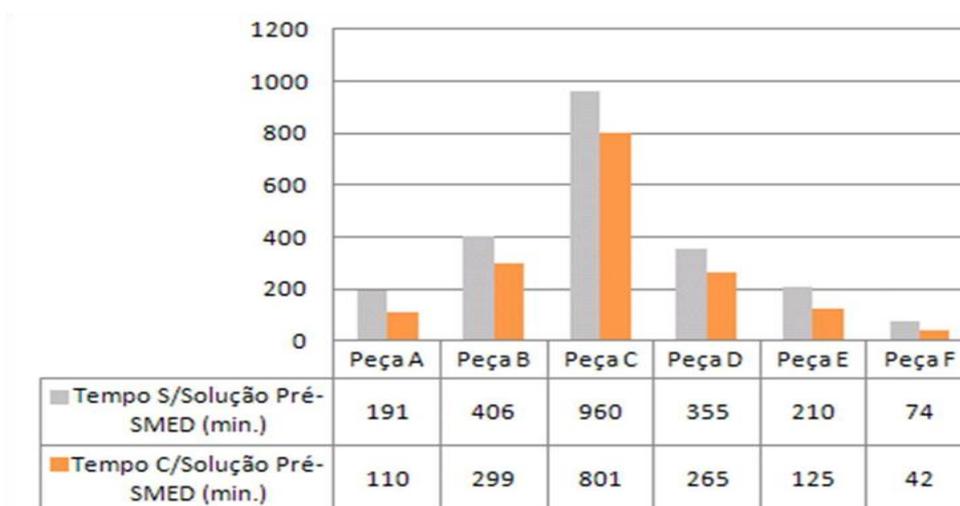


Gráfico 3 – Redução de tempos esperada após implementação das soluções

Ao analisar o gráfico 3, conclui-se que as reduções mais significativas foram conseguidas nas peças com menor tempo de maquinação, como seria de prever. O tempo de maquinação elevado das Peças B e D e o facto da Peça C se tratar de um protótipo, são fatores difíceis de contornar, mas ainda assim foram conseguidos resultados satisfatórios.

Assim, como indica o gráfico 4, o impacto das melhorias implementadas traduziu-se nos seguintes ganhos:

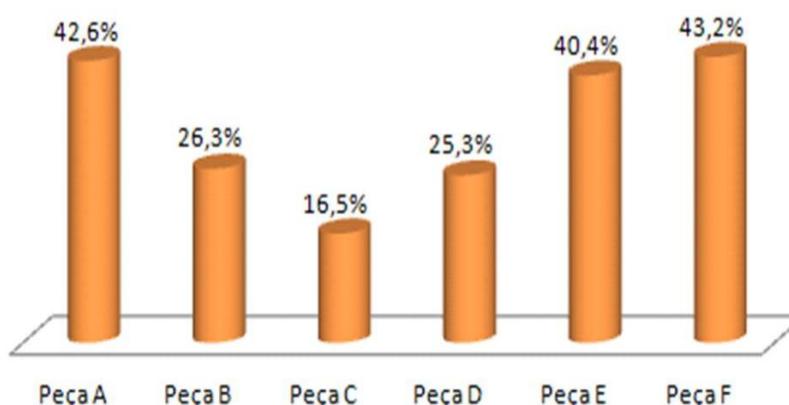


Gráfico 4 – Ganhos após implementação das soluções

Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC

Assumindo que a amostra é representativa do universo de peças existentes, atendendo às dimensões e complexidade de cada uma, é possível admitir que, em média, o ganho obtido foi de, aproximadamente, 32%. O objetivo inicialmente traçado, que aponta para um ganho de 50% na eficiência, está assim mais perto de ser atingido, se estas e outras ações continuarem a ser desenvolvidas no futuro.

Outra forma de interpretar a diminuição dos tempos de *setup* é pela redução de custos a eles associada. A tabela 7 mostra a redução conseguida nos custos, de cada *setup*, anteriormente apresentados.

Tabela 7 – Redução de custos

SETUP	Custo Total do Setup S/Solução Pré-SMED (€)	Custo Total do Setup C/Solução Pré-SMED (€)
Peça A	127	73
Peça B	276	199
Peça C	640	534
Peça D	237	177
Peça E	140	83
Peça F	49	28
	1469	1094

O simples facto de se mudar de um sistema organizativo para outro, através das metodologias implementadas, resultou numa redução de 375€ no custo total dos *setups* medidos. Assim, tendo em conta a taxa horária de 40€/hora, é possível concluir que no conjunto das medições efectuadas, haverá um ganho próximo das 9 horas em tempo disponível para corte.

6. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Com a implementação deste projeto no setor CNC da Felino, pretendia-se a criação de melhores condições de trabalho, através da aplicação de metodologias *Lean*, visando a redução dos tempos de preparação das máquinas. Embora o projeto aponte para a melhoria do trabalho de todas as máquinas CNC existentes na fábrica, as medições e os resultados apresentados contemplaram apenas os centros de maquinação, por se considerar que os *setups* destes equipamentos são mais expressivos e representativos do problema. Inicialmente, na fase de sensibilização com o processo, foram definidas as várias etapas pelas quais o trabalho do operador é repartido, que depois de esquematizadas permitiram uma melhor perceção dos problemas.

A arrumação e a organização do posto de trabalho são métodos que devem servir de base a uma gestão bem sucedida no seio de qualquer organização. Como em qualquer outro local, a chave para manter o posto de trabalho organizado passa pela criação de um lugar para tudo, e foi nesse sentido que este projeto deu os primeiros passos. Definir lugares e espaços, devidamente identificados, para todas as ferramentas envolvidas nas preparações, e evitar perdas de tempo na sua procura e a consequente quebra de ritmo no trabalho do operador, por sinal prejudicial para a produtividade, tornaram-se predicados essenciais para o cumprimento dos objetivos traçados. Para tal, a primeira ação de melhoria a aplicar é o Programa 5S. Os objetivos da sua aplicação, para além da limpeza e reorganização do setor, passam fundamentalmente pela atribuição de responsabilidades e mudança de hábitos e comportamentos nos recursos humanos, pois só assim será atingida a disciplina desejada nos métodos e procedimentos de trabalho desenvolvidos ou a desenvolver.

Após a implementação do Programa 5S, estão criadas condições favoráveis para a abordagem ao objetivo específico deste projeto, ou seja, a elaboração de regras e procedimentos para o trabalho de preparação das máquinas CNC. Com base na metodologia SMED, foi criada uma lista de tarefas a repartir entre o operador e um preparador de trabalho, porque se concluiu que um dos fatores que mais contribuía para que os *setups* fossem elevados, era a inexistência da preparação antecipada do material necessário para a execução do trabalho.

Outros fatores que não favoreciam o *setup*, e que acabaram também por dificultar a monitorização dos tempos, surgiam no momento em que o operador tinha que interromper a preparação em curso devido à paragem para almoço, ou para a troca de peça na mesma ou noutra máquina. As dificuldades sentidas durante a monitorização dos tempos de *setup*, resultaram também do facto de grande parte das preparações se realizarem fora da janela horária deste projeto.

Após a análise das várias medições realizadas, concluiu-se, através dos tempos registados na fase de afinação, que o tempo de maquinação é um fator que tem grande influência no tempo de *setup* de máquinas CNC. Ou seja, uma peça que esteja a operar durante 20 min. vai obviamente ter um tempo de preparação muito menor, do que uma peça que demore 1h30min. Como a otimização dos parâmetros da maquinação não é tema a abordar neste

projeto, o foco da análise centrou-se nas tarefas que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento.

Para a apresentação de uma amostra de resultados mais condizente com este tipo de análise, o ideal passaria por realizar pelo menos três medições do *setup* da mesma peça, em cada um dos três centros de maquinação. Contudo, dada a rotatividade do lote, que é produzido, em média, 3 vezes/ano, não foi possível abordar o problema deste modo.

Com a abordagem utilizada e perante os resultados que foi possível obter, pode-se concluir que, seguidas as metodologias e soluções propostas, os tempos de *setup* vão ser reduzidos, nomeadamente nas tarefas de *setup* externo. Com isso, a janela de tempo disponível para a maquinação vai aumentar, dotando assim a produção com maior flexibilidade e capacidade de resposta rápida a prazos de entrega cada vez mais curtos.

É evidente que, numa empresa com larga experiência de atividade (75 anos) como a Felino, em que as práticas e hábitos de trabalho persistem ao longo dos anos, a mudança nunca será uma tarefa fácil. No entanto, com as soluções apresentadas, os resultados esperados podem não ser obtidos a curto prazo, mas estão criadas bases para que futuramente se possa rumar em definitivo pelo caminho da melhoria contínua, não só no setor CNC, mas em toda a unidade de Construções Mecânicas.

Sugestões para Trabalhos Futuros

Sempre com a perspetiva da melhoria contínua, sugerem-se soluções que podem ser desenvolvidos no futuro por forma a complementar este projeto.

- **Criação de um stock mínimo de pastilhas de corte e definição de *timing* para emissão de ordens de compras**, para prevenir rutura de stocks de ferramentas e a conseqüente paragem das máquinas.
- **Centralização dos programas CNC**, que pode ser realizada através de um *notebook*, onde todos os programas seriam armazenados e, quando necessário, reajustados. Uma vez definidos os dispositivos de saída de cada máquina, a gestão de programas estaria assim facilitada.
- **Equacionar a implementação de um sistema CAM**, tendo em conta a complexidade da geometria das peças a maquinar na empresa. A elaboração dos programas de forma simples e rápida, o estudo prévio e a gestão das ferramentas de corte a utilizar na maquinação, e a prevenção de colisões entre ferramenta e peça, são algumas das vantagens que se podem retirar de um sistema deste tipo a trabalhar em pleno.
- **Estudo e projeto de ferramentas de posicionamento, e elaboração de fichas de instruções**, para uma melhor definição do modo operativo e respetiva documentação com instruções de montagem. Com isto, seriam retiradas muitas tarefas ao trabalho do operador, nomeadamente aquelas que exigem a obtenção de informações prévias sobre as características destas ferramentas.

- **Rodar 90° a mesa do computador de abertura e fecho de operações**, uma vez que esta se encontra com a traseira voltada para os tornos, dando a ideia de o computador estar apenas a servir os centros de maquinação. Com a nova disposição, haverá também mais espaço para a passagem do empilhador.
- **Dotar os caixotes com bolsas porta-documentos para a colocação das guias de acompanhamento de lote**, para que estas não se percam durante o trajeto do armazém ao posto de trabalho, e para que o lote permaneça sempre devidamente identificado.

Referências

Susaki, Kiyoshi, (2010), *Gestão de Operações LEAN – Metodologias Kaizen para a Melhoria Contínua*, LeanOp Press

Shingo, S., (1985), *A Revolution In Manufacturing: The SMED System*, Japan Management Association, Tokyo

Pinto, João Paulo, (2009), *Pensamento LEAN*, LIDEL

Pinto, João Paulo, (2008), *Lean Thinking – Introdução ao Pensamento Magro*, Artigo, Comunidade Lean Thinking

Monden, Y. (1984), *Sistema Toyota de Produção*, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais, IMAM, São Paulo

Muller, J. Claudio, *Sistema Toyota de Produção*, Artigo, Acedido a 6 de Novembro de 2011 em [<http://www.construtoracastelobranco.com.br/aempresa/ps-37/files/toyotasp.pdf>]

Imai, Masaaki (1986), *Kaizen, The Key To Japan's Competitive Success*, McGraw-Hill, New York

Womack, J., Jones, D., Roos, D., (1990) *The Machine That Changed The World*, Rawson Associates, New York

Lopes, Raul, Neto, Carlos, Pinto, João Paulo, *QUICK CHANGEOVER – Aplicação prática do método SMED*, Artigo, Acedido em 20 de Setembro de 2011 em [http://www.leanthinkingcommunity.org/livros_recurso/artigo_quickchangeover.pdf]

Sugai, Miguel, McIntosh, Richard Ian, Novaski, Olívio, (2007), *Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso*, Artigo, G&P

Relvas, C., (2000), *Controlo Numérico Computorizado – Conceitos Fundamentais*, Publindústria

Completo, A., Festas, A., Davim, J. Paulo, (2009), *Tecnologia de Fabrico*, Publindústria

Filho, Eduardo Vila Gonçalves, (2011), *Comando Numérico de Máquinas-Ferramenta*, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

Bezugo, Filipe Ruben Mendonça, (2010), *Aplicação de Técnicas Lean na Montagem Laser na ADIRA, S.A.*, Dissertação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rech, G. C., (2004), *Dispositivos Visuais como Apoio para a Troca Rápida de Ferramentas: A Experiência de uma Metalúrgica*, Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina

Neves, M., (2010), *Proposta de Gerenciamento Visual da Produção Através da Utilização de Indicadores e Quadros de Acompanhamento em uma Indústria Química*, Trabalho de Graduação, Universidade do Estado de Santa Catarina

LIB – Lean Institute Brasil, [<http://www.lean.org.br/>], São Paulo, 2006

ANEXOS

ANEXO A: EQUIPAMENTOS E SUAS DIMENSÕES

Centro de Maquinação MAZAK



- Comando: Mazatrol
- Ferramentas: ISO 40
- Carrossel: 40 ferramentas
- Paletes: 2 de 400 x 400 mm
- Curso: X= 560mm, Y=610mm, Z=710mm

Centro de Maquinação MITSUI SEIKI HT4A



- Comando: Fanuc 15 M
- Ferramentas: ISO 40
- Carrossel: 120 ferramentas
- Paletes: 10 de 500 x 500 mm
- Curso: X= 720 mm; Y= 600 mm; Z= 700 mm

Centro de Maquinação MITSUI SEIKI H6C



- Comando: Fanuc
- Ferramentas: ISO 50
- Carrossel: 60 ferramentas
- Paletes: 2 com 800 x 800 mm
- Curso: X= 1300mm, Y=1000mm, Z=1050mm

Torno MORI SEIKI (1)



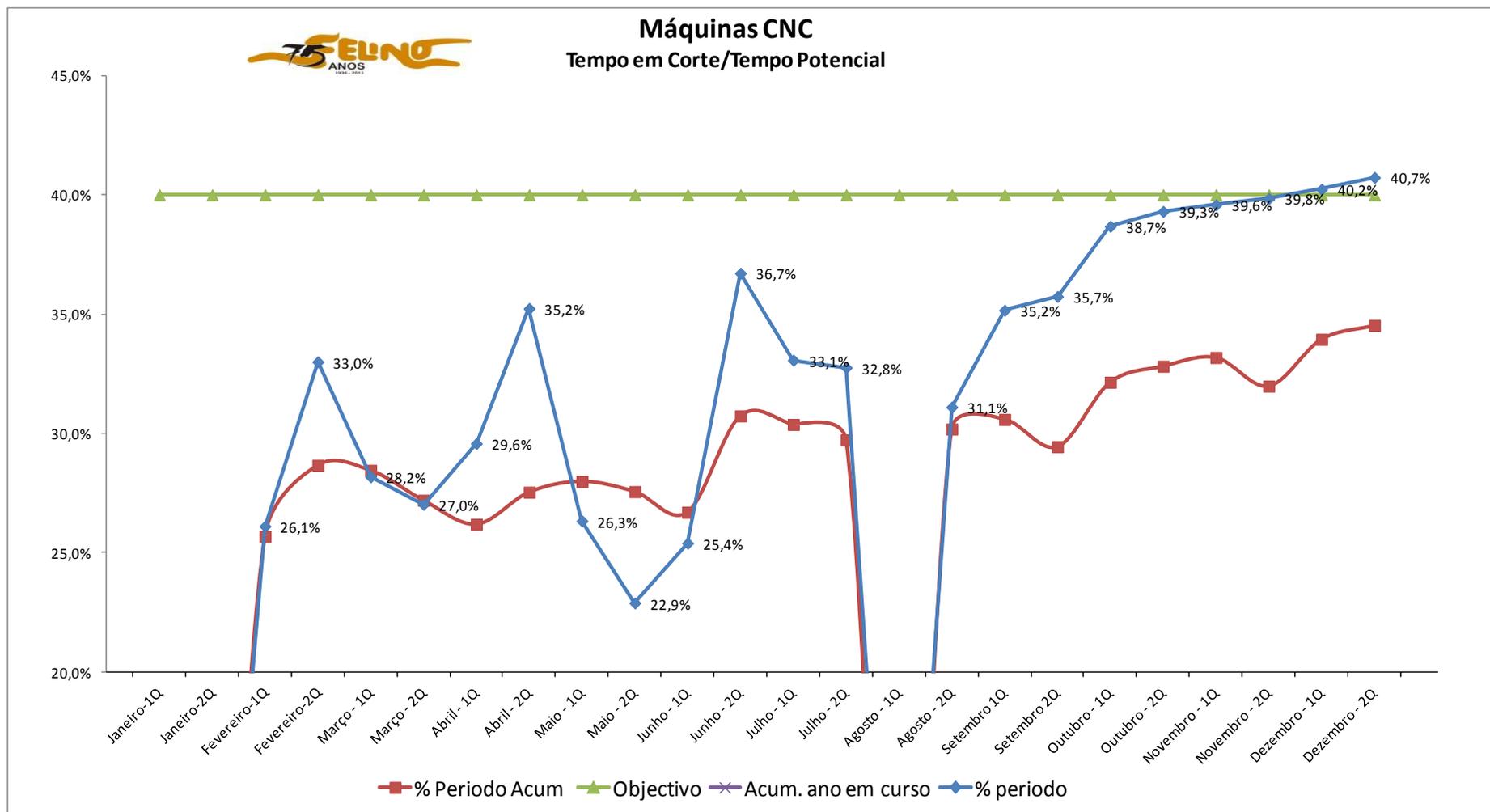
- Comando: Fanuc
- Diâmetro máx. de torneamento: 430 mm

Torno MORI SEIKI (2)

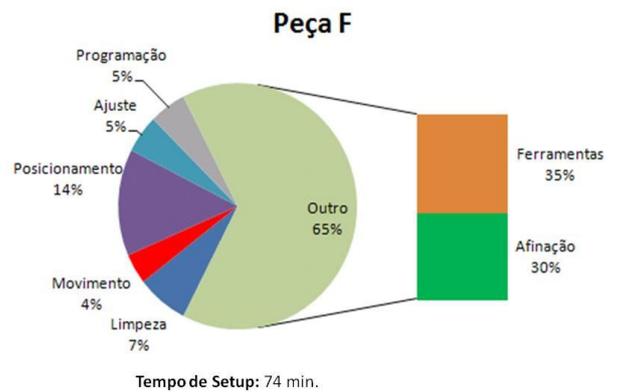
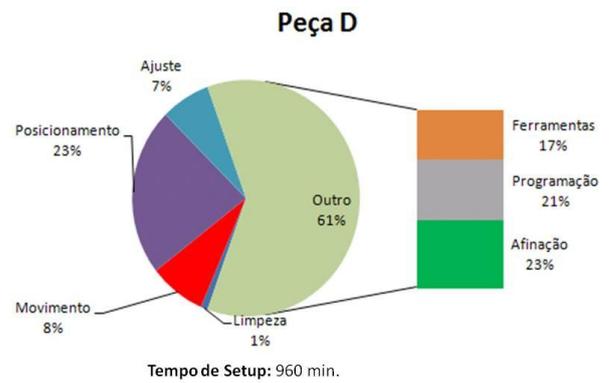
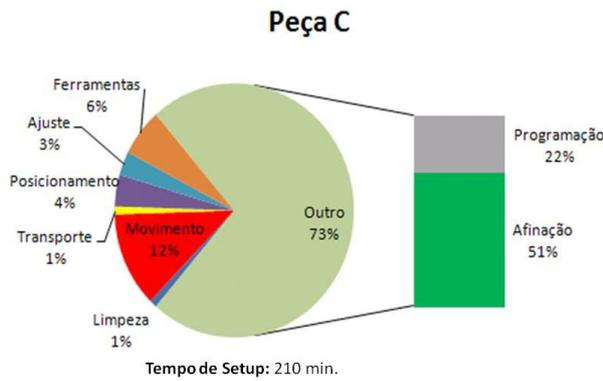
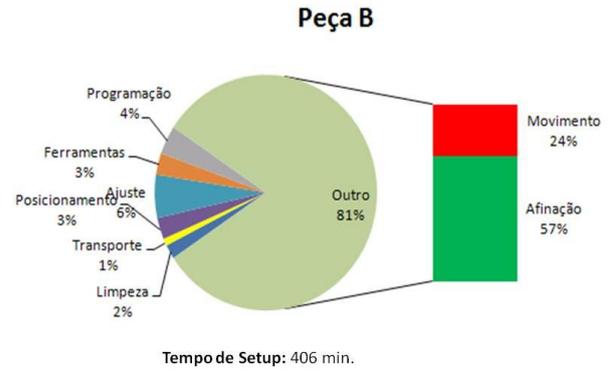
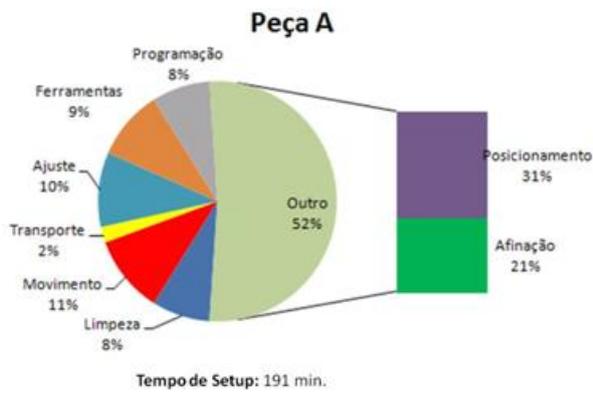


- Comando: Fanuc
- Diâmetro máx. de torneamento: 430 mm

ANEXO B: GRÁFICO QUINZENAL DE EFICIÊNCIA DAS MÁQUINAS CNC



ANEXO C: GRÁFICOS DE PERCENTAGEM DAS FASES DO SETUP



ANEXO D:

DIAGRAMA DE CIRCULAÇÃO – Deslocações do operador pela fábrica

