



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tiago Jorge Ruela Arieiro

Manutenção e reparação de
máquinas-ferramentas de comando numérico

Manutenção e reparação de
máquinas-ferramentas de comando numérico

Tiago Jorge Ruela Arieiro

UMinho | 2013

outubro de 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tiago Jorge Ruela Arieiro

Manutenção e reparação de
máquinas-ferramentas de comando numérico

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António Alberto Caetano Monteiro

outubro de 2013

DECLARAÇÃO

Nome: Tiago Jorge Ruela Arieiro

Correio eletrónico: a52750@alunos.uminho.pt

Tel./Tlm.: 258831830 / 927669171

Número do Bilhete de Identidade: 13568375

Título da dissertação: Manutenção e reparação de máquinas-ferramentas de comando numérico

Ano de conclusão: 2013

Orientador(es): Professor Doutor António Alberto Caetano Monteiro

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia

Área de Especialização: Tecnologia da Manufatura

Escola: Escola de Engenharia

Departamento: Departamento de Engenharia Mecânica

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ___/___/2013

Assinatura: _____

Agradecimentos

O seguinte espaço é utilizado para agradecer a todos as pessoas que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor António Alberto Caetano Monteiro, toda a disponibilidade demonstrada não só durante o decorrer desta dissertação, mas também ao longo dos últimos anos, o seu conhecimento e experiencia foram fundamentais.

Agradeço ao técnico das oficinas, Vítor, por todo o apoio fornecido.

Agradeço de forma especial aos meus pais, Jorge e Paula, à minha irmã Maria e avó e bisavó, Júlia e Cândida, que sempre me apoiaram e educaram, inculcando os valores que considero fazerem a base da minha formação.

Do mesmo modo agradeço à minha namorada Márcia, toda a força e paciência que me transmitiu no decorrer deste ultimo ano académico.

Agradeço ainda às minhas primas, Andreia, Filipa e Sónia, e primos Pedro, Rafael, Bruno e Diogo, a toda a minha família e padrinhos, Carlos e Lúcia, por o carinho e apoio em todos os momentos.

Aproveito ainda para agradecer a todos aos meus colegas de curso e amigos, Diogo, Mariana, Carla, Vasco, Vítor, Pedro, Areias, Pumba, Chuck e Rambo, Sara, Rita e Sónia que fizeram deste meu percurso académico uma experiência inesquecível e enriquecedora.

Resumo

Para muitos fabricantes de bens de consumo, a manufatura e a montagem flexível é o único meio que lhes permite competir num mercado onde as mudanças, previstas ou imprevistas, têm de ser facilmente absorvidas pelo sistema e os produtos são caracterizados por grande variedade.

Contudo a disponibilidade constante deste sistema produtivo é um parâmetro de grande importância no sucesso desta filosofia.

Neste trabalho são enumerados princípios de manutenção e reparação focados no elemento fulcral da manufatura flexível, a máquina-ferramenta de comando numérico por computador (CNC).

São também realizados diversos testes com intuito de identificar e solucionar uma avaria de causa desconhecida no equipamento em estudo, criando por necessidade um manual técnico detalhado do mesmo.

Para além disso é realizado um estudo de retrofitting aplicado a um subsistema de uma fresadora CNC.

Abstract

For many manufacturers of consumer goods, manufacturing and flexible assembly is the only way that enables them to compete in a market characterized by a large variety of products, and where changes, planned or unplanned, must be easily absorbed by the system

However the constant availability of this production system is a parameter of great importance in the success of this philosophy.

In this paper the principles of maintenance and repair focused on the core of flexible manufacturing, machine tool numerical control computer (CNC) are listed.

Moreover, several tests are conducted to identify and troubleshoot a malfunction of the equipment under study.

The unknown cause of the malfunction, created the need for a detailed technical manual for the equipment in analysis.

In addition, a study of retrofitting is conducted to a subsystem of a CNC milling machine.

Palavras-chave: máquina-ferramenta; comando numérico por computador; retrofitting; manutenção.

Key-words: machine tool; computer numeric control; retrofitting; maintenance.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Organização da dissertação	3
2	Manutenção Mecânica.....	5
2.1	Tipos de manutenção	6
2.1.1	Manutenção corretiva	7
2.1.2	Manutenção preventiva.....	8
2.1.3	MPT e Tero tecnologia	11
2.2	Planeamento de manutenção	13
2.2.1	Registo técnico	13
2.2.2	Manuais.....	14
2.3	Retrofitting em máquinas-ferramentas CNC.....	15
3	Máquinas-ferramentas de comando numérico.....	17
3.1	Descrição.....	17
3.2	História da máquina-ferramenta.....	18
3.3	Evolução do comando numérico	21
3.4	Importância da máquina-ferramenta.....	26
4	Design de máquinas-ferramentas.....	29
4.1	Classificação de máquinas-ferramentas.....	29
4.1.1	Estrutura do controlador	29
4.1.2	Tipo de movimento	30
4.1.3	Programação incremental ou absoluta	32
4.1.4	Ciclo de controlo: malha aberta ou malha fechada	34
4.2	Componentes	35
4.2.1	Controlo.....	35
4.2.2	Estrutura.....	37
4.2.3	Correções.....	39
4.2.4	Transmissão mecânica	43
4.2.5	Acionamento	48
4.2.6	Instrumentos de medição.....	63

5	Planeamento do trabalho	73
5.1	Descrição do caso de estudo	73
5.2	Limpeza da máquina-ferramenta.....	75
5.3	Componentes	78
5.3.1	Correções.....	79
5.3.2	Transmissão.....	80
5.3.3	Acionamento	83
5.3.4	Instrumentos de medição.....	91
6	Desenvolvimento do trabalho	99
6.1	Identificação de sensores	101
6.2	Teste aos encoders óticos.....	103
6.3	Atualização do sistema de electroválvulas pneumáticas	105
7	Discussão de resultados	113
8	Conclusões	115
8.1	Sugestões para trabalho futuro	116
9	Referências	117
10	Anexos	121
	Anexo A	123

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 Ciclo de vida de um produto	1
--	---

Capítulo 2

Figura 2.1 Tipos de manutenção.....	7
Figura 2. 2 Esquema de funcionamento de manutenção corretiva	7
Figura 2.3 Esquema de funcionamento de manutenção preventiva.....	8
Figura 2. 4 Influência de melhorias nas diferentes fases do ciclo de vida.	12
Figura 2.5 Curva da banheira	15
Figura 2.6 Exemplo de aplicação de retrofitting numa fresadora convencional	16

Capítulo 3

Figura 3.1 Tecnologias da Manufatura.....	18
Figura 3. 2 Exemplo dos primeiros tornos	19
Figura 3.3 Processo de maquinagem convencional.....	21
Figura 3.4 Exemplo de uma máquina-ferramenta CN, modelo Milwaukee-Matic-II	23
Figura 3.5 Esquema de funcionamento de uma máquina de comando numérico	24
Figura 3.6 Custo total em relação ao tamanho de lote produzido	25
Figura 3. 7 Capital gerado pela produção e venda de máquinas-ferramentas	27
Figura 3. 8 Produção mundial de máquinas-ferramentas em 2011	27
Figura 3.9 Exportações e importações nacionais em 2011	28

Capítulo 4

Figura 4.1 Movimento ponto-a-ponto.....	30
Figura 4. 2 Movimento paraxial	30
Figura 4. 3 Movimento em contorno.....	31
Figura 4.4 Interpolador Linear	32
Figura 4. 5 Interpolador circular.....	32
Figura 4.6 Exemplo de programação incremental e absoluta	33

Figura 4.7 Esquema de funcionamento de um sistema de malha aberta	34
Figura 4. 8 Esquema de funcionamento de um sistema de malha fechada	34
Figura 4. 9 Arquitetura do sistema de informação de uma unidade de controlo CNC ...	36
Figura 4. 10 Tipos de corredeças em máquinas-ferramentas	40
Figura 4.11 Registo de fenómeno de Slip-stick em dois tipos de deslocamento, .	40
Figura 4.12 Tipos de corredeças de escorregamento	41
Figura 4.13 Vista em corte de uma corredeça de elementos rolantes	41
Figura 4.14 Guias Pressurizadas.....	42
Figura 4.15 Exemplo de um sistema de atuação direta.....	43
Figura 4.16 Fuso de esferas recirculantes	46
Figura 4.17 Vista em corte de um fuso de esferas recirculantes	46
Figura 4.18 Comparação dos rendimentos entre fusos trapezoidais e de esferas ao longo do angulo de rosca.....	47
Figura 4.19 Sistema de eliminação de folga axial por aplicação de força de pré-tensão..	48
Figura 4. 20 Princípio de funcionamento de uma máquina elétrica	49
Figura 4.21 Princípio da força de Lorentz.....	49
Figura 4. 22Tipos de acionamento elétrico.....	50
Figura 4.23 Estrutura de motores de corrente contínua.....	51
Figura 4. 24 Relação entre a velocidade nominal de um motor elétrico de corrente contínua e o seu binário	52
Figura 4.25 Sistema de acionamento hidráulico rotativo	54
Figura 4.26 Esquema de funcionamento de motor elétrico linear	56
Figura 4.27 Acionamento da árvore principal por servomotor com um sistema de transmissão por correia	59
Figura 4.28 Princípio de funcionamento e controlo de um servomotor	59
Figura 4.29 Servomotores de corrente contínua	60
Figura 4. 30 Servomotores síncronos de corrente alternada	61
Figura 4. 31 Servomotores de indução.....	62
Figura 4.32 princípio de alinhamento de Abbe	65
Figura 4.33 Princípio de funcionamento de um encoder ótico.....	68
Figura 4.34 Morfologia dos dois tipos de discos de encoder	69
Figura 4.35 Posição dos fotodíodos e sinal de saída de encoders óticos incrementais ..	70

Figura 4.36 Posição dos fotodíodos e sinal de saída de encoders óticos absolutos	70
Figura 4.37 Princípio de funcionamento de um sensor indutivo	71

Capítulo 5

Figura 5.1 Chapa de identificação da Fresadora CNC	74
Figura 5. 2 Representação dos eixos da fresadora em estudo	74
Figura 5.3 Acumulação de resíduos junto ao eixo X.....	76
Figura 5.4 Peças removidas da máquina-ferramenta em estudo.....	77
Figura 5. 5 Petróleo de limpeza "Petrocleaner"	77
Figura 5.6 Fluido de limpeza de contactos eletricos "Contact Cleaner"	78
Figura 5.7 Sistema de correções do eixo Y	79
Figura 5.8 Correção Linear de esferas recirculantes "TYP SR20 W", THK	80
Figura 5. 9 Localização dos dispositivos de transmissão de movimento	81
Figura 5. 10 Representação esquemática da direção de rotação do eixo B e do sistema de transmissão de movimento acoplado ao servomotor	82
Figura 5.11 Localização dos dispositivos de conversão de movimento	82
Figura 5. 12 Vista do eixo Z e do motor da árvore principal.....	84
Figura 5.13 Chapa de identificação do motor da árvore	85
Figura 5.14 Matriz de codificação dos motores "1FT5"	85
Figura 5.15 Curva de funcionamento nominal do servomotor da árvore principal	86
Figura 5.16 Chapa de identificação do motor de acionamento do eixo Z.....	87
Figura 5.17 Curva de funcionamento nominal do servomotor de acionamento do eixo Z.....	88
Figura 5.18 Ciclo de vida dos servomotores "1FT5".....	89
Figura 5.19 Equipamento pneumático de libertação da ferramenta de corte.....	89
Figura 5.20 Cilindro pneumático de duplo efeito "P 210-25"	90
Figura 5.21 Cilindro pneumático de duplo efeito "DN-32-300-PPV-4977" Festo	91
Figura 5.22 Encoder Incremental do eixo Z	93
Figura 5.23 Sinais fornecidos pelo do encoder "ROD 426"	94
Figura 5.24 Vista do interior do eixo B, o encoder ótico é acionado pela correia em destaque	94
Figura 5.25 Localização dos sensores de fim de curso.....	95

Figura 5.26 Localização dos sensores de fim de curso na verificação da ferramenta de corte, e de posicionamento para o sistema de troca de palete 96

Figura 5.27 Localização dos sensores de fim de curso, “BES-516-324-E4-C-PU-5” no resguardo..... 96

Capítulo 6

Figura 6.1 Percentagem de avarias de seis subsistemas de uma fresadora 99

Figura 6.2 Mensagens de erro apresentadas pelo equipamento em estudo 100

Figura 6. 3 Quadro elétrico da máquina-ferramenta em análise 101

Figura 6.4 Display da máquina-ferramenta em estudo, com informação da posição de cada eixo 104

Figura 6.5 Sensores de pressão do sistema de ar comprimido do equipamento 105

Figura 6.6 Pormenor da fissura registada em várias electroválvulas..... 106

Figura 6.7 Bloco de Electroválvulas do objeto de estudo 107

Figura 6.8 Conjunto de electroválvulas Camozzi configuradas para o equipamento em estudo 109

Figura 6.9 Bacia de escape do sistema de ar comprimido..... 110

Figura 6. 10 Representação em CAD do sistema de fixação idealizado 110

Índice de Tabelas

Capítulo 4

Tabela 4.1 Classificação de elementos de transmissão de movimento e suas características.....	44
Tabela 4.2 Classificação de elementos de conversão de movimento e suas características.....	45
Tabela 4.3 Tabela com velocidades síncronas e assíncronas de motores de corrente alternada.....	53
Tabela 4.4 Tabela de características dos diferentes tipos servomotores	62
Tabela 4.5 Características metrológicas e funcionais de instrumentos de medição em máquinas-ferramentas de comando numérico.....	65

Capítulo 5

Tabela 5.1 Tipos de transmissão e conversão de movimento encontradas no equipamento em estudo.....	81
Tabela 5.2 Características dimensionais dos fusos de esferas, modelo “DBS-2005-4”, KORTA, utilizados no equipamento em estudo	83
Tabela 5.3 Informação técnica do servomotor da árvore principal	86
Tabela 5.4 Informação técnica do servomotor do eixo Z.....	87
Tabela 5.5 Servomotores com opção de inclusão de travão em modo Fail-Safe ..	88
Tabela 5.6 Informação técnica do cilindro pneumático “P 210-25”	90
Tabela 5.7 Informação técnica do cilindro pneumático “DN-32-300-PPV-4977” Festo	91
Tabela 5.8 Informação técnica dos taquímetros utilizados nos servomotores da máquina-ferramenta em estudo.....	92
Tabela 5.9 Informação técnica do encoder ótico incremental “ROD 426”	93
Tabela 5.10 Informação técnica do sensor indutivo “BES-516-300-S-166-PU-5”.....	95
Tabela 5.11 Informação técnica do sensor indutivo “BES-516-324-E4-C-PU-5”.....	97

Capítulo 6

Tabela 6.1 Codificação dos sensores no sistema de controlo	103
Tabela 6.2 Tabela de custo das electroválvulas pneumáticas “PVLB121618” e “PVLB122618”	107
Tabela 6.3 Tabela de custo das electroválvulas pneumáticas Camozzi e artigos necessários a sua instalação	109

1 Introdução

As mudanças nos paradigmas de produção e do consumo resultaram numa diversificação do número de produtos requeridos, promovida pelo aumento da personalização. [1]

A produção destes artigos não se torna viável do ponto de vista económico quando produzidos através dos métodos tradicionais de produção em massa.

Por este motivo, surgiu a necessidade de sistemas de produção altamente flexíveis, eficientes e desenhados para realizar produtos de qualidade mas com tamanhos de lote reduzidos.

Estes sistemas flexíveis geralmente consistem na utilização de várias máquinas-ferramentas de comando numérico por computador (CNC). [1]

Contudo para a sua correta utilização e otimização são exigidos cuidados especializados, de entre os quais se destaca a utilização de ferramentas modernas de CAD e CAM, programação cuidada e manutenção eficiente. [1]

Desta forma, a manutenção insere-se nestes sistemas não como uma necessidade mas sim como uma solução, uma vez que permite o aumento do ciclo de vida (Figura 1.1) de um equipamento, expandido o período de funcionamento.

Por outro lado pode lançar as bases para projetos de atualização, modernização e reaproveitamento de máquinas em obsolescência. [2]

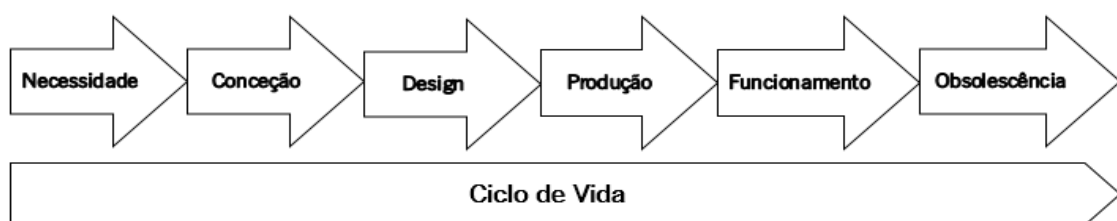


Figura 1.1 Ciclo de vida de um produto [3]

A função de atualização, denominado por Reddy [4] como “retrofitting”, ou reforma numa tradução sobre a função, consiste na modernização de dispositivos, máquinas ou sistemas, sempre com custos inferiores ao da aquisição de um novo equipamento equivalente.

O retrofitting permite a eliminação de superfícies desgastadas, a reposição de componentes em fim de vida ou a substituição do tipo de acionamento, controlo ou outro sistema, e a reavaliação das políticas de segurança.

Esta atualização geralmente apresenta as seguintes consequências enumeradas por Reddy [4]:

- Aumento da produtividade;
- Redução do tempo de não produção;
- Garantia de peças de substituição;
- Atualização de software, permitindo programação simples e otimizados;
- Alternativa a investimentos pesados;

Com consciência das exigências de um mercado complexo, o departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, pretende uma melhoria no seu parque de máquinas-ferramentas CNC, fornecendo ao mesmo tempo competências aos seus alunos na manutenção deste equipamentos complexos.

Procura-se então com esta dissertação mostrar a importância da manutenção de máquinas-ferramentas de comando numérico por computador, utilizando como objeto de estudo uma fresadora CNC de 4 eixos.

Para além disto propõe-se a realização de um estudo de retrofitting aplicado ao objeto em estudo.

Finalmente, procura-se a criação de uma manual técnico detalhado da fresadora CNC em estudo.

1.1 Motivação

Máquinas-ferramentas de comando numérico incorporam um conjunto de sistemas e componentes avançados de diferentes áreas como a eletrónica, hidráulica, pneumática, mecânica, programação, metrologia, cinemática de mecanismos entre outras.

As máquinas ferramentas são parte fulcral dos sistemas de produção flexível, e a sua manutenção é um exercício importante na formação e preparação de pessoal capaz de enfrentar as adversidades no ambiente competitivo da indústria.

Para além disto a necessidade de manter um laboratório de máquinas de comando numérico perfeitamente operacional e produtivo, torna o sucesso deste trabalho um grande desafio.

1.2 Objetivos

O seguinte trabalho, é composto por três objetivos, descritos em seguida:

- Manutenção integral da fresadora CNC de 4 eixos, identificação da falha, e resolução da mesma, restabelecendo o bom funcionamento ao equipamento;
- Elaboração um manual técnico do equipamento em estudo;
- Produzir um estudo de atualização da máquina-ferramenta;

1.3 Organização da dissertação

Neste capítulo inicial, foi realizado uma breve introdução com o intuito de estabelecer um contexto para o resto do trabalho.

No segundo capítulo, é feita uma caracterização teórica sobre manutenção mecânica, principais tipos e ainda uma nova abordagem à obsolescência de máquinas-ferramentas.

O terceiro capítulo contém uma breve introdução histórica da máquina-ferramenta, a evolução do comando numérico e ainda a importância destas na sociedade e economia.

Posteriormente, no quarto capítulo, é realizada uma descrição técnica da caracterização de máquinas-ferramentas CNC, e ainda dos seus principais componentes.

No quinto capítulo é feito o planeamento do trabalho realizado, a descrição do caso de estudo e dos componentes encontrados neste equipamento.

Nos capítulos seguintes, é realizado concretizado o desenvolvimento do trabalho e são analisados os resultados do mesmo.

Finalmente no capítulo oito, são consideradas algumas conclusões ao trabalho realizado e a sugeridas algumas propostas para trabalho futuro.

2 Manutenção Mecânica

As mudanças na sociedade desde meados do século XX produziram alterações na filosofia de produção, e por consequência da preservação de máquinas produtivas.

A manutenção surgiu como termo industrial, derivada do termo francês aplicado na gíria militar para definir a tarefa de “manter em completo estado operacional todas as unidades de combate”. [5]

No entanto esta expressão só se tornou corrente com o aparecimento da automação industrial, uma vez que anteriormente, o termo “conservação” era utilizado para definir o ato de repor o funcionamento de uma máquina. [6]

Existem várias definições para manutenção, sendo esta definida pela norma AFNOR NF X60-010 [7] como “o conjunto de ações que permite manter, ou restabelecer, um bem num estado específico, em condições de assegurar um serviço determinado, com um custo global mínimo”.

Simplificando, Souris [6] afirma que manutenção “é a garantia de disponibilidade dos equipamentos de produção pela avaliação das imperfeições do património tecnológico investido”.

Com o aparecimento e difusão de manutenção procurou-se o aumento da fiabilidade. Entende-se fiabilidade como “ a característica de um dispositivo expressa pela probabilidade que esse dispositivo tem de cumprir uma função requerida, em condições de utilização e por um período de tempo determinados”. [7]

O aumento da fiabilidade usufrui da evolução da eletrónica, e da computação que permitiu a criação de instrumentos de medição avançados, que fornecem dados de controlo e monitorização precisos. Por outro lado a computação permitiu a criação de modelos matemáticos complexos, que ajudam na previsão de eventuais falhas. [8]

Durante muito tempo, a manutenção era considerada uma tarefa secundária, que absorvia recursos, sem mostra de benefício. No entanto com o aumento considerável da utilização de automação e da necessidade da disponibilidade constante, esta visão alterou-se, considerando-se a manutenção como atividade de apoio à produção. [5]

Para além da disponibilidade, a manutenção afeta ainda a qualidade dos produtos obtidos. Segundo Souris [6] “a manutenção assegura a disponibilidade da produção, portanto garante a quantidade, mas também a qualidade, nomeadamente no caso em que os parâmetros dos equipamentos agem diretamente sobre a qualidade final do produto”

Existem ainda casos em que a manutenção toma caráter obrigatório, por motivos de segurança, como é o caso de hospitais, transportes, indústria petrolífera e nuclear. [5]

Contudo a manutenção deve estar solidária com os objetivos da empresa existindo várias condicionantes à correta manutenção, entre elas, Souris [6] enumera os seguintes:

- Disponibilidade financeira;
- Princípios de exploração dos equipamentos industriais;
- Nível de produtividade desejada;
- Qualidades de fiabilidade intrínseca do material;
- Duração de vida prevista dos equipamentos;
- Obsolescência do material;
- Qualidade e formação dos técnicos de manutenção;

2.1 Tipos de manutenção

No domínio da manutenção, faz a distinção entre os tipos de intervenções, as que não foram planeadas ou corretivas e as planeadas ou preventivas. As primeiras são aquelas resultantes da falha inesperada de um componente, em que a manutenção reage com função de repor o estado operacional do dispositivo. [5]

Por outro lado, as operações planeadas, geralmente, têm por intuito a melhoria de funcionamento, a prevenção de uma futura avaria ou uma intervenção para responder a uma falha, previamente detetada, em que a sua solução foi discutida e analisada. [9]

Na Figura 2.1 encontram-se esta classificação da manutenção quanto aos tipos principais de manutenção.

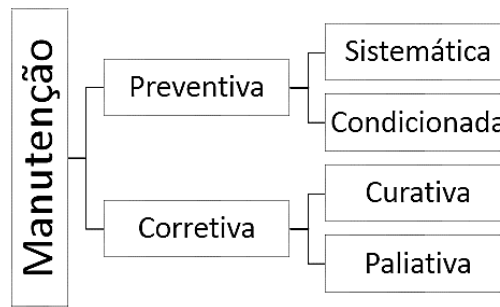


Figura 2.1 Tipos de manutenção [10]

2.1.1 Manutenção corretiva

Como anteriormente descrito, a manutenção corretiva é realizada logo após a ocorrência de avaria. A utilização deste tipo de manutenção prevê o funcionamento contínuo dos dispositivos sem qualquer tipo de intervenção, até surgir uma avaria. [11]

Este tipo de manutenção reativa no entanto apresenta desvantagens, enumeradas por Mobley [11]:

- Necessidade de um vasto stock de peças;
- Falta de planeamento destas atividades de manutenção pode levar a imobilização da produção com possíveis consequências para o atraso de encomendas e tudo o que isso acarreta;
- Tempos de paragem prolongados, devido ao não planeamento da intervenção;
- Diminuição da vida útil dos restantes componentes do dispositivo em falha;

Na Figura 2.2, está representado este tipo de manutenção.

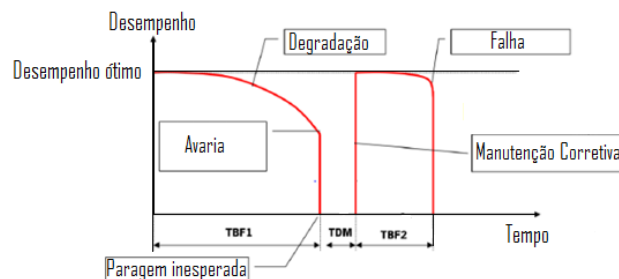


Figura 2.2 Esquema de funcionamento de manutenção corretiva [5]

Existe ainda a distinção entre o tipo de manutenção corretiva, podendo esta ser considerada manutenção corretiva paliativa ou curativa.

Entende-se manutenção corretiva paliativa, intervenções realizadas no dispositivo em avaria, com o objetivo de o colocar em funcionamento, até se proceder a uma correção completa. [12]

Considera-se manutenção corretiva curativa todo o tipo de reparação ou intervenção com o intuito de repor em completo funcionamento o componente sujeito a falha.

2.1.2 Manutenção preventiva

Ao contrário da manutenção não planeada a manutenção preventiva é realizada com o intuito de reduzir a probabilidade de avaria, ou a detioração da qualidade de um dispositivo ou produto, promovendo o aumento da fiabilidade. A Figura 2.3, demonstra esquematicamente o funcionamento desta técnica de manutenção. [10]

Este tipo de manutenção é definido pela norma EN13306 [13], como sendo “uma intervenção efetuada em intervalos de tempo predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de ocorrer uma avaria ou existir uma degradação de um bem”.

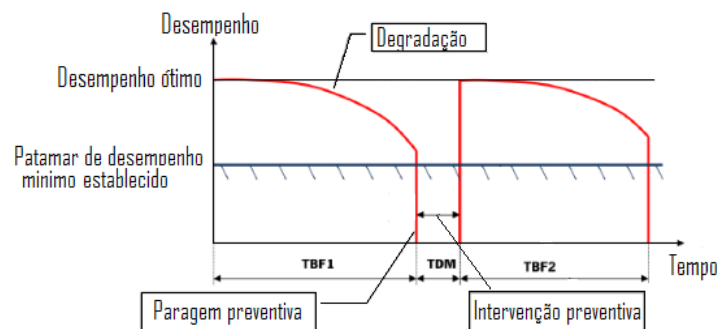


Figura 2.3 Esquema de funcionamento de manutenção preventiva [5]

A aplicação deste tipo de manutenção implica a aceitação de que o funcionamento contínuo da unidade produtiva é mais importante que a substituição de componentes que ainda possuem valor útil, ou seja a substituição de peças sem estas estarem em falha. [10] Análise de forças

Por este motivo a manutenção preventiva pode ser muito custosa quando mal aplicada, sendo a sua utilização dependente de cada unidade produtiva, devido as diferentes implicações que o ambiente impõe nos dispositivos a manter. [10]

Este tipo de manutenção exige a avaliação de todos os equipamentos a serem monitorados, o estabelecimento de calendários de visitas periódicas a esses equipamentos, e consequente substituição dos mesmos. [11]

Os calendários devem assentar na análise das leis de degradação, obtidas do estudo contínuo dos equipamentos em funcionamento. [11]

Existem dois tipos de manutenção preventiva, sendo estes dois tipos a manutenção preventiva sistemática, e preventiva condicionada.

A manutenção preventiva sistemática é definida pela AFNOR na norma X60-010 [7] como sendo “a executada conforme o quadro de programações estabelecido em função do tempo ou do número de unidades de utilização”. [12]

Este tipo de manutenção pressupõe o conhecimento do comportamento dos materiais e componentes em estudo. Esta informação fornecida pelos fornecedores dos componentes será complementada e ajustada ao longo do tempo pela observação e inspeções periódicas. [8]

O ajuste do planeamento o característico de cada componente e material permite a maximização do investimento feito em manutenção, e criar um melhor quadro de intervenções sistemáticas a um dispositivo. [8]

Segundo Fernández, manutenção preventiva condicionada, é o segundo conceito de manutenção planeada e é definida como sendo toda a manutenção subordinada a um tipo de evento predeterminado, seja este autodiagnosticado, resultante da informação recolhida por um sensor ou dos registos, revelador do estado de degradação. [7]

Na norma EN 13306 [13], está considerado um sinónimo para a manutenção preventiva condicionada, denominada por preditiva, e definida por “a manutenção efetuada de acordo com antevistas extrapoladas da análise e da exploração dos parâmetros significativos de degradação de um bem.

Esta tem por objetivo o funcionamento contínuo do equipamento em estudo prevenindo avarias, e geralmente só é aplicado em órgãos de elevado custo de substituição. [14]

Silva [14] afirma, que a utilização deste tipo de manutenção acarreta a aplicação de ferramentas como:

- Análise de vibrações;
- Medição ultrassónicas;
- Termografia;
- Inspeção visual;
- Análise de parâmetros de rendimentos;
- Análise de lubrificantes;

Para além destas ferramentas, a manutenção preventiva condicionada necessita do desenvolvimento prévio dos seguintes requisitos, descritos por Magalhães [9]:

-Escolha de equipamentos e das instalações: selecionados por ordem de importância no sistema produtivo ou por possuírem órgãos de elevado custo;

-Escolha da técnica de controlo: selecionada de acordo com o parâmetro a controlar;

-Descrição do programa: selecionadas as máquinas e descritos os pontos a controlar e a referida periodicidade;

-Definição de padrões: é definido um valor de referência para cada ponto e respetivo parâmetro a controlar de forma a definir os intervalos de alerta necessários. Os valores de referência são definidos pelo fabricante, por estudos ou por experiência da empresa;

-Recolha de dados: realizado por operadores que retiram os valores dos pontos no momento especificado e fazem o registo;

-Análise dos dados: tratamento computacional dos dados, com recurso a gráficos de tendência de valores e emissão de um alerta quando excedidos os valores de alerta;

-Análise e correção de avarias: são planeadas paragens do equipamento de acordo com o grau iminente de avaria, que pode parar o fabrico ou esperar por um período de paragem;

2.1.3 MPT e Tero tecnologia

Para além dos tipos de manutenção clássicos anteriormente enumerados, surgiram nos anos 70, conceitos abrangentes de manutenção. Entre eles, demarcam-se o Manutenção Produtiva Total (MPT) e a Tero tecnologia. [15]

A Tero tecnologia ter-se-á desenvolvido na Europa, e pretende combinar, a gestão, finanças e engenharia, com o intuito de diminuir custos.

Para tal, Farinha [15] afirma que, “recorre a especificação e ao projeto referente à fiabilidade e manutibilidade (definida pela norma AFNOR X60 -010 [7], como “probabilidade de que o estado de bom funcionamento de um dispositivo após uma avaria, seja repostado num dado intervalo de tempo”) de equipamentos, maquinaria, edifícios e estruturas como à sua correta instalação, receção, manutenção, modificação e substituição, consagrando ainda informação sobre conceção, desempenho em custo de serviço”

Este tipo de manutenção alia duas funções geralmente distintas, como as técnicas de manutenção e a gestão. A primeira tem por função responder às solicitações, solucionando problemas recorrendo a conhecimento técnico; a segunda realiza a organização dos trabalhos, dos equipamentos e recursos.

Por outro lado a Manutenção Produtiva Total, é desenvolvida na mesma altura no Japão. Estas duas apresentam muitas semelhanças, no entanto, Takahashi [16], aponta que a MPT possui grande ênfase na motivação do pessoal responsável pela manutenção.

Este autor [16] estabeleceu cinco princípios que fornecem a base deste tipo de manutenção:

- Estabelecer objetivos que maximizem a eficiência da instalação;
- Estabelecer um sistema global de manutenção produtiva que cubra integralmente o ciclo de vida da instalação;
- Envolvimento de todos os ramos da organização, tais como o planeamento, operações e de manutenção;
- Participação integral de todos os membros de uma organização;
- Reforçar a motivação pessoal, criando pequenos grupos autónomos de manutenção produtiva;

Segundo Magalhães [9], a maior evolução imposta por este tipo de manutenção prende-se com o maior envolvimento dos responsáveis pela produção em atividades de manutenção, uma vez que estes, fruto da sua atividade produtiva, são os que detêm mais conhecimento do funcionamento específico dos equipamentos.

Para além da integração da produção na manutenção, passou-se a incluir no projeto de novos equipamentos e produtos, uma componente focada na manutenção. Segundo Fernández [8], os engenheiros responsáveis pela produção de desenvolvimento de novos projetos nem sempre estão familiarizados com os princípios de manutenção, sendo portanto necessário a troca de informação de técnicos especializados em manutenção aquando dos projetos conceptuais uma vez que esta influência trará melhorias na qualidade global dos produtos, tanto no seu funcionamento como na sua manutenção.

A figura 2.4 demonstra a influência das melhorias apresentadas por especialistas em manutenção e a sua facilidade de aplicação ao longo do ciclo de vida do produto

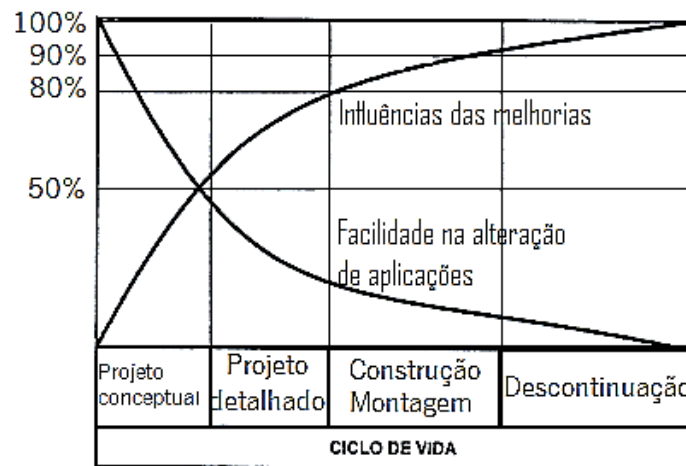


Figura 2.4 Influência de melhorias nas diferentes fases do ciclo de vida. [8]

2.2 Planeamento de manutenção

A correta manutenção exige a disponibilidade e existência de um grupo de planeamento encarregue da organização, preparação, método de trabalho, execução e controlo das intervenções. [15]

Todos estes componentes são de grande importância, no entanto neste trabalho irão ser estudados em pormenor o aspeto do controlo em particular na elaboração de registos históricos, e a importância de manuais técnicos.

O controlo de uma intervenção de manutenção tem por função terminar uma intervenção, realizando questões formais, como sejam a atualização do estado do equipamento com os operacionais da produção, atualização dos registos técnicos e contabilísticos referentes ao equipamento. [11]

2.2.1 Registo técnico

Segundo Ben-Daya [10], o registo técnico permite o estudo das falhas ocorridas até então num determinado equipamento, possibilitando a melhoria do planeamento e intervenções futuras, com o objetivo de aumentar a fiabilidade do componente e definir o período ótimo para aplicar manutenção ou mesmo substituir componentes.

Para tal é essencial que estes registos se mantenham atualizados e contenham informação necessária ao correto planeamento e análise, entre os quais Cabral [17] enumera:

- Data da intervenção, ou informação do contador do equipamento (número de ciclos, quilómetros);
- Sintoma e causa de falha;
- Tipo de intervenção;
- Descrição;
- Tempos de intervenção;
- Mão de obra requerida e o seu custo;
- Custo dos componentes e materiais utilizados;

O benefício da elaboração e correta utilização destes registos verifica-se numa maior economia e gestão de stocks, num maior planeamento das intervenções e aumento da fiabilidade e disponibilidade [17]

2.2.2 Manuais

Para além dos registos elaborados pela própria equipa de manutenção, estas devem ter acesso aos manuais pormenorizados e detalhados dos equipamentos sobre seu cuidado, para melhor responder em situações de falha. [15]

Segundo Magalhães [9], um grupo encarregue da manutenção deve possuir os seguintes documentos:

- Especificações técnicas/literatura sobre os equipamentos;
- Documentos referentes à compra (garantia, empresa representante...);
- Manuais elétricos, hidráulicos, pneumáticos, automação, etc.;
- Manuais de manutenção, produção e processo;
- Desenhos mecânicos e informações de implantação dos equipamentos (ligações, fundações)
- Desenhos técnicos das instalações;
- Regulamentos, legislação, normas referentes às aplicações;
- Literatura técnica geral;

A existência destes manuais permite a correta aplicação de manutenção de equipamentos.

2.3 Retrofitting em máquinas-ferramentas CNC

As tradicionais curvas da banheira (Figura 2.5) representam a variação do número de avarias com o tempo do produto, e representam um excelente indicativo para a importância da correta aplicação da conservação.

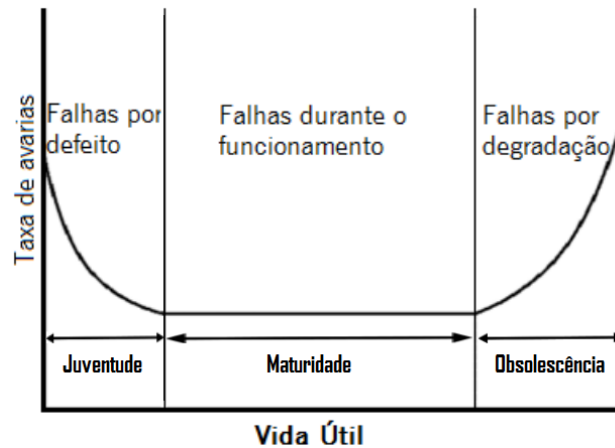


Figura 2.5 Curva da banheira [10]

Na fase inicial existe o registo de várias avarias precoces, posteriormente, durante a maturidade, o aparecimento de avarias é aleatório e a taxa de avarias é constante, sendo que este é o período de rendimento ótimo do equipamento ou material. [11]

A obsolescência é definida por Miranda [12] como um período de degradação acelerada, com uma taxa de avarias crescentes.

Durante esta fase os responsáveis pelo equipamento devem tomar decisões em relação a esta, uma vez que os encargos com a manutenção vão aumentar consideravelmente, e a sua disponibilidade vai diminuir. [10]

Para além disso, Reddy [4] afirma que a atualização das tecnologias de produção é essencial para manter altos níveis de produtividade, uma vez que a capacidade de produzir peças de elevado grau de complexidade ou com toleranciamento apertados e rigorosos apenas possível ou viável com a utilização de máquinas-ferramentas CNC, significa geralmente a garantia de encomendas constantes.

O retrofitting assume-se assim como uma possibilidade de modernização económica, podendo representar uma poupança na ordem dos 25 a 35% do custo de uma máquina com as mesmas características [18], reaproveitando a estrutura de

máquina-ferramenta que geralmente mantém a integridade e rigidez necessárias para uma máquina-ferramenta. A Figura 2.6 representa um exemplo de retrofitting.



Figura 2.6 Exemplo de aplicação de retrofitting numa fresadora convencional [19]

As vantagens oferecidas pelo retrofitting são vastas, no entanto a atualização deve ser realizada não apenas no equipamento, mas também na disciplina oficial e na forma de funcionamento e operação. [19]

Algumas vantagens no retrofitting em máquinas-ferramentas CNC são enumeradas por Reddy [4]:

- Investimento reduzido, resultante do aproveitamento da estrutura principal do equipamento;
- Redução dos tempos de operação e preparação, fruto da atualização dos controlos e acionamentos;
- Aumento da competitividade, imposta pela possibilidade de realização de trabalhos complexos;
- Aumento da qualidade, promovido pelo aumento da exatidão e repetibilidade

Contudo alguns autores alertam para as limitações de máquinas-ferramentas reformadas, uma vez que apesar da modificação dos sistemas de acionamento ou de outros componentes a sua exatidão e repetibilidade continua limitada à qualidade de construção da base, removendo apenas as imprecisões de sistemas de acionamento ou controlo. Esta técnica ser usada como percussora de investimentos em máquinas-ferramentas CNC originais. [18]

3 Máquinas-ferramentas de comando numérico

No capítulo seguinte, pretende-se dar a conhecer um pouco da evolução histórica das máquinas-ferramentas de comando numérico e a sua importância.

3.1 Descrição

Na atualidade a procura de bens de consumo diversificados, tanto em género como em qualidade levou ao desenvolvimento de uma indústria de transformação e produção, que luta por aumentar a sua eficiência e rentabilidade. [20]

Como afirma Youssef [21], “A manufatura é a atividade industrial que converte matérias-primas em produtos acabados.” Este termo provém da expressão, “fazer á mão”, no entanto as forças necessárias para transformar estes produtos já ultrapassou claramente as limitações da força humana, sendo portanto necessário a substituição por processos e utensílios capazes de realizar estas tarefas.

Na Figura 3.1 pode observar-se os diferentes processos presentes na manufatura.

Estes podem ser de conformação plástica, que consiste na deformação a frio ou a quente de um material, promovendo dessa forma uma alteração de forma permanente.

Fundição e soldadura, a primeira tecnologia permite a criação de componentes de geometria muito complexa, a partir do vazamento de metal líquido num molde e conseqüente arrefecimento e a segunda a ligação pelo meio de metal líquido de dois componentes.

Por último, a maquinagem que resulta da remoção de excesso de material de um bloco (“tarugo”) de matéria-prima, permitindo a obtenção de peças com qualidade superficial e funcional e com rigor dimensional e geométrico.

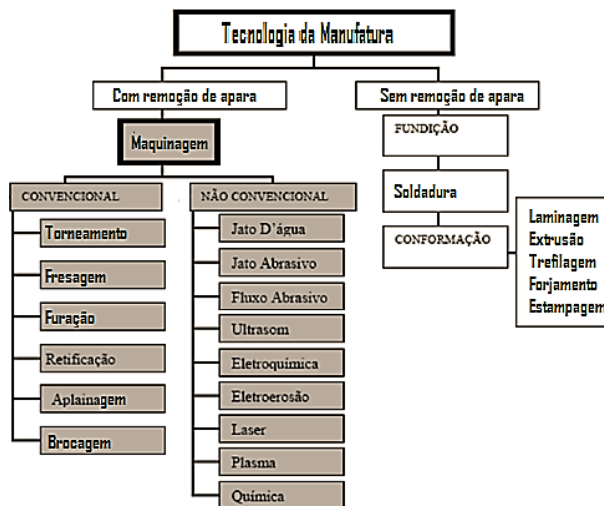


Figura 3.1 Tecnologias da Manufatura [21]

Os processos de maquinagem principais têm uma máquina-ferramenta associada, construída de raiz para realização dessa atividade.

3.2 História da máquina-ferramenta

Desde da antiguidade, o Homem procurou facilitar a sua sobrevivência recorrendo à utilização de utensílios. Estes, de simples construção, procuravam simplificar algumas tarefas diárias.

Neste contexto foram surgindo um grande número de utensílios primitivos, na sua maioria apenas vocacionados para uma tarefa específica. Contudo com a procura natural por maneiras mais rápidas e eficientes de produzir estes acessórios, surgiram as primeiras ferramentas [2]

Segundo Youssef [21], a primeira máquina-ferramenta surgiu no Egito antigo, cerca de 4000 anos A.C. com o desenvolvimento do cilindro, e consequentemente da chumaceira, empregues no transporte de blocos de pedra, do local da sua extração para o local de construção. A utilização desta tecnologia indica a construção e introdução das primeiras máquinas de furar e “tornear” em madeira.

Na Figura 3.2 pode-se observar um exemplo deste tipo de tornos construídos em madeira.

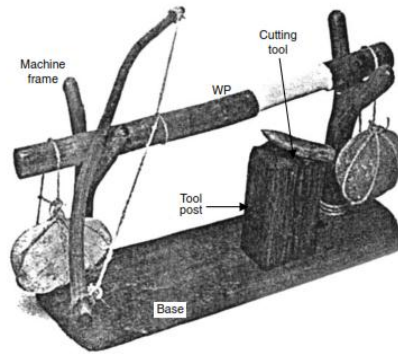


Figura 3.2 Exemplo dos primeiros tornos [21]

Com evolução da tecnologia e com a descoberta de novos materiais, apareceram os tradicionais tornos, muitas vezes denominado por máquina-ferramenta fundamental, sendo o precursor de todas as outras máquinas-ferramentas convencionais.

Posteriormente foram desenvolvidas novas tecnologias, por exemplo, Da Vinci inventou o primeiro engenho de furar no século XV. [21]

Mas é no decorrer da Revolução Industrial, durante o século XVIII, que se registam os maiores avanços técnicos, aliado ao nascimento da indústria pesada, de salientar, Whitney desenvolveu a primeira fresadora em 1818 e em 1840 foram introduzidos os primeiros tornos acionados por motor a vapor. [20]

Joseph Marie Jacquard (1752 a 1834) desenvolveu teares mecânicos que recorriam à utilização de cartões perfurados para elaborar complicadas teias e tramas nos tecidos, surgindo desta forma um esboço do que viria a ser o comando numérico. [21]

Durante o século XIX, foram desenvolvidos e aplicados muitos sistemas que ainda hoje compõe uma máquina-ferramenta convencional como a utilização de fusos e sistemas de movimentação contínua automática e a introdução dos sistemas de comando por cames.

O processo de automação de uma máquina-ferramenta iniciou-se com a aplicação de cames que controlavam as operações que a ferramenta realizava. [2]

Contudo esta tecnologia estava presa à rigidez do seu meio de armazenamento de informação, a própria came, que tinha que ser desenhada, maquinada e tratada por processos manuais, sem haver uma correlação com os desenhos técnicos das peças. [2]

Outro desenvolvimento importante para as máquinas-ferramentas convencionais é a introdução de técnicas de cópia automática de perfis. Isto era obtido quando um pantógrafo percorria a superfície da peça matriz. Estas máquinas recorriam à utilização de um sistema hidráulico aliado a sistemas de controlo por cames e que permitiam produzir réplicas da peça matriz. [21]

Estes avanços na tecnologia culminaram com a introdução na indústria das chamadas máquinas Transfer, que englobavam em si, grande parte das tecnologias já descritas. Como Pruvot [22] afirma, estas máquinas-ferramentas são muito importantes, uma vez que foram elas que permitiram a produção em massa de bens de consumo no século XX, principalmente após a segunda guerra mundial.

As máquinas Transfer eram organizadas em linhas produtivas, em que, cada uma delas produzia um tipo de peça apenas, no entanto a sua cadência de produção e repetibilidade eram elevadíssimas.

Estes dispositivos consistiam numa sucessão de máquinas-ferramentas agrupadas sequencialmente e desenhadas para produzir um único movimento ou operação. [21]

Quando a operação estivesse concluída numa dada secção, o sistema de movimentação integrado (designado por “transfer”, batizando desta forma estas máquinas) iria deslocar a peça para a próxima operação. Quando somados estes processos todos, obtinha-se uma peça final.

Sendo assim para cada tipo de produto teria de ser feita uma máquina Transfer diferente, pois estas eram demasiado rígidas para produzir qualquer variação nas suas peças. [20]

Segundo Koren [23], isto implicava ainda um grande investimento em equipamento, um longo período de preparação para cada série de produto e requeria um enorme stock de matéria-prima e de ferramentas.

Todas estas tecnologias tinham por objetivo obter um maior nível de independência em relação ao trabalho manual, procurando também o aumento da capacidade de produção.

No entanto, apesar de todas as características que estas máquinas-ferramentas convencionais apresentam, surgiu a necessidade de automatizar e

flexibilizar as operações de maquinagem. Por essa razão apareceram durante o ano de 1953 as primeiras máquinas-ferramentas de comando numérico. [2]

Em contraste com os meios de controlo anteriormente descritos, o controlo numérico permitia a transferência de informação abstrata, facilmente codificada a partir de linguagens de programação, criadas somente para este efeito. [24]

Com o desenvolvimento, e rápida disseminação da computação, a máquina-ferramenta passou a ser controlada por sistemas computacionais que revolucionaram o seu papel na indústria, a partir da década de 60 do século XX, passando a ser designadas por máquinas-ferramentas CNC (Controlo Numérico). [24]

Contudo a sua utilização apenas se tornou corrente com a introdução do CAD/CAM na indústria, uma vez que estes sistemas permitem retirar total partido das capacidades deste tipo de máquinas. [21]

3.3 Evolução do comando numérico

A história mostrou que no desenvolvimento das máquinas operatrizes a procura de soluções que possibilitassem o aumento da produtividade e qualidade foi uma constante.

Até aos anos 50, havia dois grandes tipos de produção na indústria da manufatura [24]. O primeiro tipo era caracterizado por operações manuais, morosas mas de grande diversidade de produtos, sendo utilizada para pequenos ou médios lotes. Estas operações dependiam da experiência e formação do operador, como evidencia a Figura 3.3

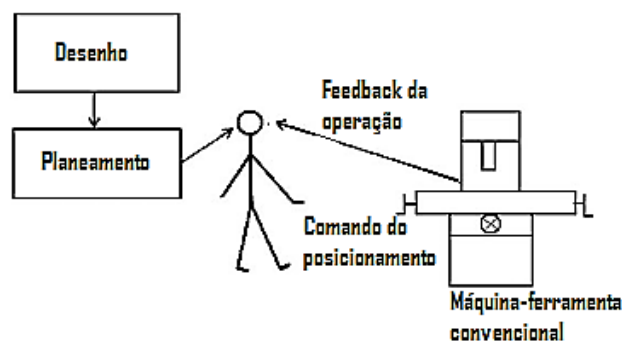


Figura 3.3 Processo de maquinagem convencional [21]

Por outro lado existia a produção em massa, utilizando máquinas Transfer como foi anteriormente descrito. Este tipo de produção era responsável por a fabricação de grandes lotes.

As máquinas responsáveis por este tipo de produção só eram rentáveis quando o volume de matéria produzida era grande, requeria portanto vários estudos de mercado. Por sua vez, as máquinas-ferramentas convencionais tinham regimes de produção muito baixos.

Com as mudanças da indústria e do consumo após a Segunda Guerra Mundial, surgiu a necessidade de produzir peças com a flexibilidade de uma máquina convencional, aliada a elevada cadência e repetibilidade de uma máquina Transfer.

Com este intuito as máquinas-ferramentas de controlo numérico foram desenvolvidas inicialmente para produzir peças complexas para a indústria aeronáutica e de moldes, como afirma Altintas [25].

O estudo deste novo tipo de ferramentas iniciou-se na Parsons Corporations (gerida por John T. Parsons) em 1949. Este já tinha produzido uma mesa de coordenadas para movimentar uma fresadora em dois eixos, necessitando no entanto de dois operadores para esta tarefa. [24]

Com financiamento da USAF (United States Air Force), Parson desenvolveu um protótipo, eliminando a introdução manual dos comandos e substituindo por cartões perfurados (como os utilizados por Jacquard), no entanto, a falta de controlo de posição inviabilizava esta tecnologia. [20]

Isto devia-se a facto de os comandos mecânicos não responderem de forma linear.

Devido a variação de forças no sistema, a potência aplicada para realizar um movimento não iria produzir sempre o mesmo efeito, neste caso de deslocamento, criando dessa forma superfícies de corte pouco suaves.

Segundo Suh [20], este problema foi resolvido quando o Laboratório de Servomecanismos do Massachusetts Institute of Technology (MIT) foi incluído no projeto de um novo sistema de controlo de máquina-ferramenta com geração de dados de posicionamento tridimensional da ferramenta.

Desta parceria surgiu a primeira fresadora com três eixos de movimento simultâneos, controlados por um novo tipo de sistema de controlo, batizado por Máquina de Controlo Numérico (CN).

A Electronic Industries Association (EIA) definiu CN como, “ Um sistema no qual as ações são controladas pela inserção direta de informação numérica. O sistema deverá interpretar pelo menos uma parte desta informação”

Esta foi adaptada por retrofitting de uma fresadora convencional (uma Cincinnati Hydro-tel) para receber a unidade de controlo dos eixos e recorria a tubos de vácuo para transmitir a informação. [21]

Este sistema de controlo era muito volumoso, e ocupava mais espaço que a própria máquina-ferramenta que comandava (Figura 3.4). Recorria exclusivamente a processamento lógico e utilizava fita magnética como sistema de armazenamento do programa de maquinagem.

Na fita magnética encontrava-se a sequência de instruções da máquina, elaborado por um código numérico, que permitia a repetibilidade do posicionamento três a cinco vezes maior que a obtida em máquinas convencionais.

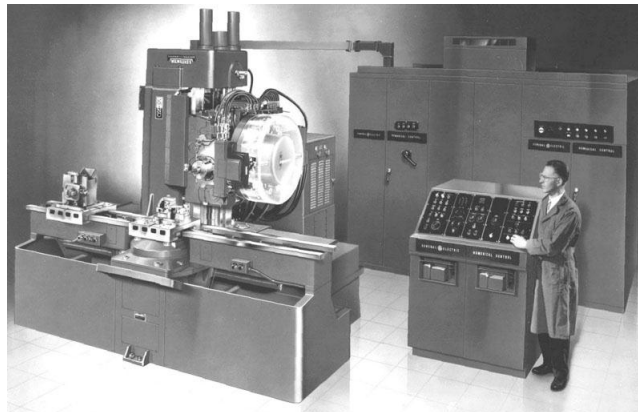


Figura 3.4 Exemplo de uma máquina-ferramenta CN, modelo Milwaukee-Matic-II [21]

No entanto o custo inicial e a fraca fiabilidade apresentada por este sistema de controlo foi sempre apontado como as maiores desvantagens à proliferação desta tecnologia, assim como o tempo de produção das fitas magnéticas, Puckle [24] afirma, que “existia quem afirmasse que o tempo de produção de peças era o mesmo, apenas se tinha mudado a operação onde este era despendido.

Por estes motivos a utilização das máquinas-ferramentas CN ficaram limitadas a algumas indústrias (aeronáutica, militar, moldes), sendo ainda consideradas máquinas-ferramentas especiais, pois mantinham um certo grau de rigidez associado às suas capacidades, em grande parte porque se mantinha a necessidade de um meio físico de introdução de informação, no caso as fitas magnéticas, como enaltece Youssef. [21]

No entanto a partir da década de 60 com o aparecimento dos transístores e díodos o centro de comando destes dispositivos foi-se tornando mais fiável e acima de tudo, mais barato. [24]

Em 1965 o desenvolvimento dos circuitos integrados permitiu a miniaturização e redução dos custos das unidades de controlo e lançou as bases para a utilização de computadores. [20]

Citando Koren [23], “a diminuição do preço dos minicomputadores e microprocessadores está a modificar o especto da oficina de uma empresa.” Nestas mudanças inclui-se a utilização cada vez mais frequente de máquinas de controlo numérico e robots e a criação de novos tipos de processos de maquinagem, como é o exemplo do corte por laser

Foi nesta altura que se verificou a evolução dos sistemas de controlo numérico para controlo numérico por computador.

Como afirma Altintas [25], nas máquinas-ferramentas CNC o controlo das operações a realizar é feito por microprocessadores e PLC's (Programmable Logic Controller) que trabalham de forma coordenada,

Este controlo permite a movimentação simultânea de vários servomotores, e facilita a introdução da informação de maquinagem, uma vez que não precisa de um suporte físico, podendo inclusive ser introduzida diretamente no PLC, Figura 3.5.

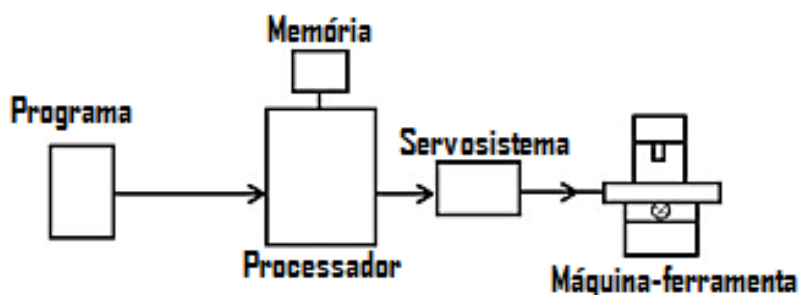


Figura 3.5 Esquema de funcionamento de uma máquina de comando numérico [21]

Atualmente esta tecnologia, têm ganho cada vez mais espaço no mercado, uma vez que [25]:

- É um sistema flexível de produção, permitindo a modificação rápida do produto a ser produzido;

- Diminui o tempo da operação;

- Tem uma menor intervenção humana, diminuindo por isso erros e acidentes de trabalho;

- Diminuição das tolerâncias admissíveis, com o aumento da exatidão e repetibilidade e a diminuição de erros associados ao operador, leva ao projeto de produtos com tolerâncias mais apertadas;

- Redução do número de inspeções metrológicas;

- Programas automáticos de diagnóstico;

- Possibilidade do uso de equipamentos periféricos computacionais;

- "Display" para operação;

Porém esta tecnologia também apresenta algumas desvantagens [20]:

- Investimento inicial elevado;

- Mão-de-obra especializada para a programação;

- Manutenção exigente e especializada;

- Uso de ferramentas específicas;

- Não elimina completamente os erros humanos;

A aquisição de máquina-ferramenta CNC acarreta um investimento muito elevado. Como tal, as empresas deverão equacionar a sua compra. A Figura 3.6 mostra de forma simples o custo total em relação ao tamanho de lote produzido.

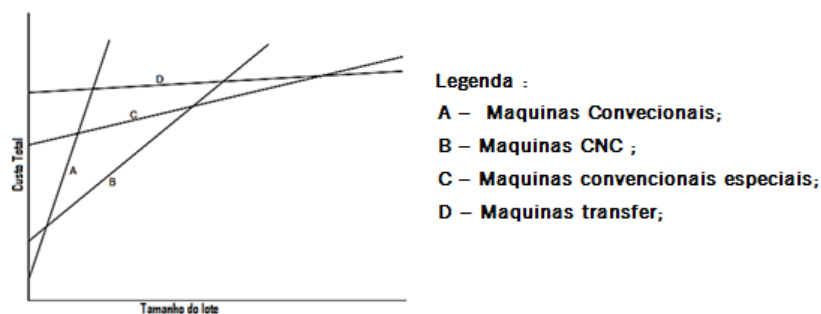


Figura 3.6 Custo total em relação ao tamanho de lote produzido [20]

Pela análise do gráfico observa-se que as máquinas CNC não podem competir com as designadas máquinas especiais ou especializadas, pois elas são desenhadas para produzir em massa. No entanto quando o lote a produzir é de tamanho médio ou pequeno estas tornam-se cada vez mais rentáveis.

Em suma as máquinas-ferramentas CNC devem ser aplicadas quando:

- O custo de maquinagem é inferior ao de maquinagem convencional;
- O tempo de preparação é inferior ao obtido por maquinagem convencional;
- Quando é requerido um elevado número de troca de ferramentas de corte, ou de variação de características da maquinagem;
- Os produtos são de forma variada;
- As forma a maquinar são muito complexas;
- Peças de valores muito elevados, em que o erro humano é custoso.

3.4 Importância da máquina-ferramenta

Como Yousseff [21] afirma, a maquinagem, há semelhança da conformação plástica, é utilizada quando a qualidade superficial e o rigor dimensional e geométrico são as características mais importantes. Por esta razão as operações de maquinagem correspondem a 20 % do total de todas as atividades de manufatura nos Estados Unidos da América.

Por outro lado as máquinas-ferramentas são consideradas um produto de valor acrescentado, devido ao facto de requerem um elevado conhecimento e desenvolvimento na sua produção. Para além disso, por serem a base de todo o sistema produtivo, tornam-se um excelente indicador de riqueza e tecnologia de um país ou região.

No gráfico da Figura 3.7 pode-se observar o capital gerado pela produção e venda de máquinas-ferramentas produzidas na CECIMO [26] (European Association of the Machine Tool Industries), que representa mais de 1100 industriais europeus, ou seja 97% da produção de máquinas-ferramentas na Europa, num período compreendido entre 1995 e 2012.

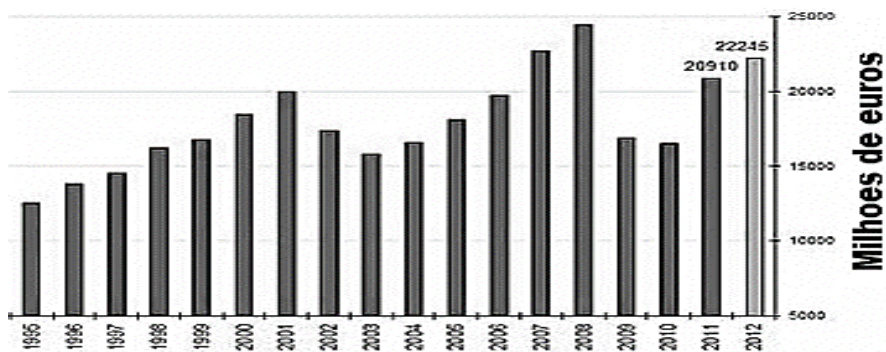


Figura 3. 7 Capital gerado pela produção e venda de máquinas-ferramentas [26]

Pode-se verificar a redução de venda de máquinas-ferramentas em 2009 e 2010, correspondendo aos anos de maior recessão económica na Zona Euro.

A partir de 2011 observa-se o rápido crescimento das vendas, que segundo o organismo citado, provocado pelo aumento da exportação, que correspondem a mais de 80% da produção total.

Na Figura 3.8 observa-se a produção mundial de máquinas-ferramentas.

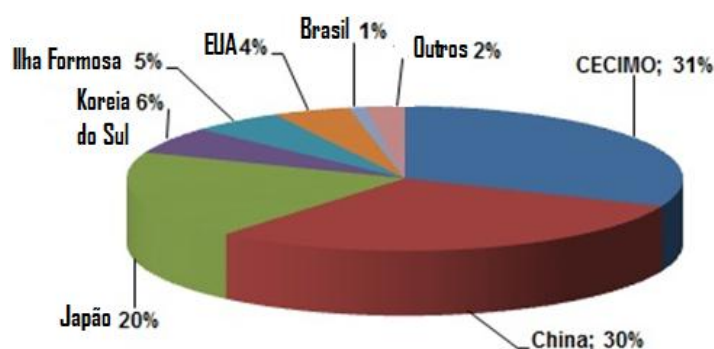


Figura 3. 8 Produção mundial de máquinas-ferramentas em 2011 [26]

Pela análise do gráfico pode-se concluir que a grande maioria da produção de máquinas-ferramentas está sediada na Europa e na China, representando em conjunto 60% da produção mundial.

Relativamente à produção nacional, o único indicador da produção de máquinas-ferramentas é dado pelo INE (Instituto Nacional de Estatística), Figura 3.9.

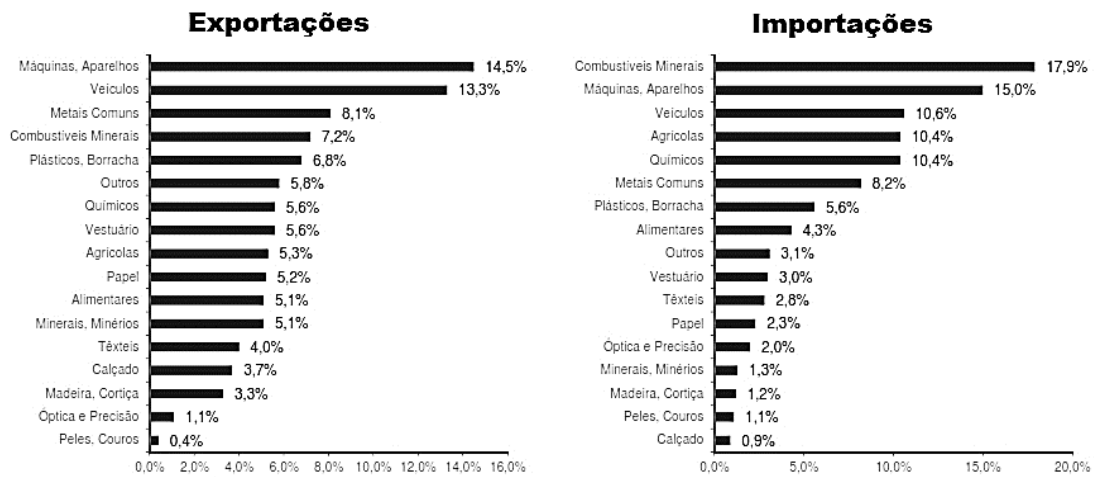


Figura 3.9 Exportações e importações nacionais em 2011 [27]

Ambos os gráficos dizem respeito a dados recolhidos em 2011, onde se pode observar que 14.5% das exportações nacionais foram atribuídas a máquinas-ferramentas e outros aparelhos (não havendo dados acerca do economia gerada apenas por máquinas-ferramentas)

4 Design de máquinas-ferramentas

Neste capítulo será feita a classificação de máquinas ferramentas, para além disso será realizada uma descrição e estudo dos principais componentes que geralmente se encontram em máquinas-ferramentas de comando numérico para propósitos gerais, como é o caso de tornos e fresadoras CNC.

4.1 Classificação de máquinas-ferramentas

Existem diferentes tipos de máquinas com controlo numérico. Estas diferenciam-se em alguns aspetos, principalmente no seu controlo. [23]

Pode-se então considerar quatro tipos de classificação:

- Tipo de estrutura do controlador, baseado no hardware (NC) ou no software (CNC);
- Tipo de movimento, ponto-a-ponto, paraxial ou contorno;
- Tipo de programação: incremental ou absoluta;
- Tipo de ciclo de controlo: ciclo aberto ou fechado.

4.1.1 Estrutura do controlador

Segundo Koren, a arquitetura de uma máquina de controlo numérico (NC) durante o nascimento desta tecnologia, baseava-se no hardware. Todas as funções da máquina eram então administradas por circuitos eletrónicos digitais.

Contudo, o mesmo autor afirma que a partir da década de 70 a introdução de microprocessadores, flexibilizou este tipo de ferramentas, ao remover a rigidez de controlos lógicos, e ao permitir alterações nos programas peça

Para além destas diferenças, a leitura de fitas magnéticas, também apresenta diferenças, uma vez que em sistemas CN, a fita é lida com o avanço dos processos de maquinagem sequencialmente, em máquinas CNC o programa é armazenado em memória interna. Esta particularidade permite a máquinas CNC remover por completo os erros de leitura do programa, uma vez que este pode ser conferido na máquina.

4.1.2 Tipo de movimento

O movimento ponto-a-ponto, segundo Madison [28], implica a deslocação da ferramenta em relação a peça até a posição onde se irá produzir a primeira operação. Quando a ferramenta de corte se encontra sobre a posição programada, todos os movimentos nos eixos cessam e a operação de maquinagem é realizada.

Uma vez terminada a tarefa a máquina irá deslocar a ferramenta até novo ponto de operação onde irá repetir o processo, Figura 4.1.

Em suma, a maquinagem nunca ocorre com os eixos em movimento

Este tipo de movimento é fundamentalmente aplicado em máquinas de furar ou de soldadura por pontos. [24]

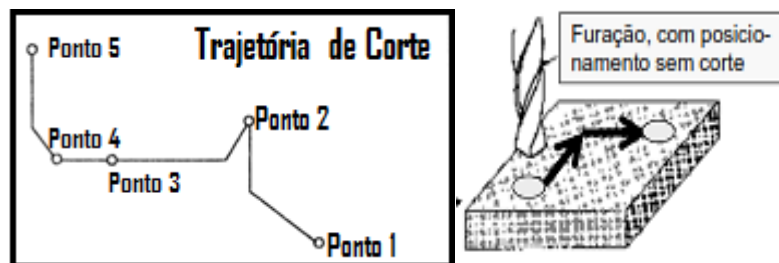


Figura 4.1 Movimento ponto-a-ponto [20]

Movimento paraxial

Este tipo de movimento é utilizado para a criação de superfícies quadrangulares simples. Recorre a junção do corte com o deslocamento contínuo numa só direção da área de trabalho, sempre paralelo a um dos eixos da máquina.

Ou seja apenas um único motor realiza movimento de deslocação, sendo necessário controlar a sua velocidade e posição (Figura 4.2). [29]

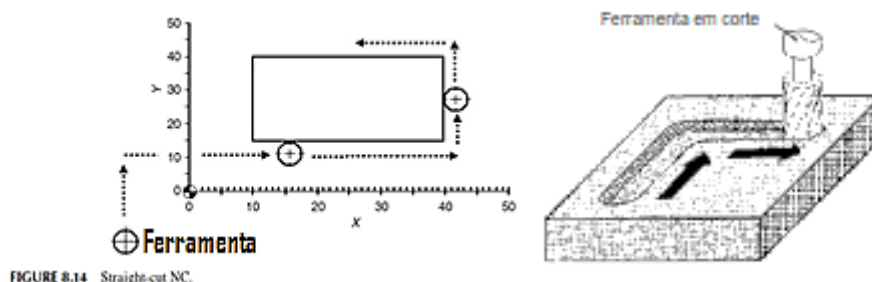


FIGURE 8.14 Straight-cut NC.

Figura 4. 2 Movimento paraxial [20]

Movimento em contorno

Neste tipo de movimento a ferramenta está em corte ao mesmo tempo que os eixos se deslocam. [24]

O controlo de movimento por contorno, ou contínuo, é utilizado para criar superfícies ou contornos de elevado grau de complexidade. Requer a monitorização constante da ferramenta em relação à área de trabalho. [23]

Esta monitorização (Figura 4.3) é realizada em malha fechada (ver capítulo 4.1.4).

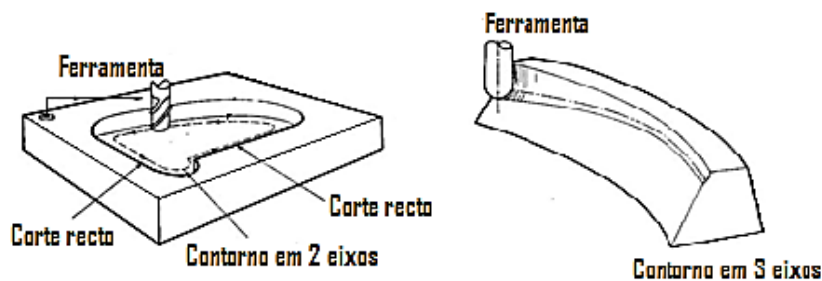


Figura 4. 3 Movimento em contorno [21]

Para obter este tipo de controlo, é necessário a utilização de ferramentas matemáticas complexas como é o caso da interpolação. Este tem por função recolher os pontos do programa peça e criar mais pontos para que a máquina-ferramenta consiga criar os contornos desejados. Se não fossem utilizadas as interpolações o programador teria de fornecer todos os pontos que geram a superfície, o que tornaria os programas demasiado extensos, o que poderia conduzir ao aumento da quantidade de erros. [21]

Segundo Youssef, estes interpoladores podem ser de 4 tipos:

-Linear, o movimento de deslocamento entre dois pontos é feito em linha reta. No caso de a superfície incluir curvas, esta será dividida numa série de linhas retas como demonstrado na Figura 4.4. Quanto menor a tolerância admitida maior o número de pontos criados.

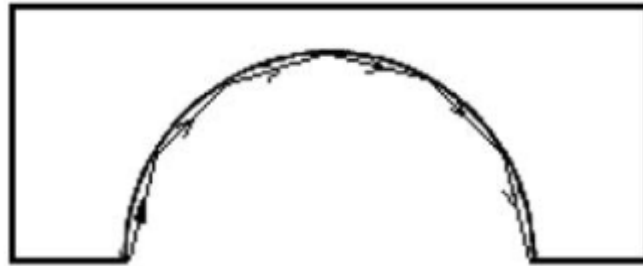


Figura 4.4 Interpolador Linear [21]

-Circular, quando a superfície a maquinar é um arco, o interpolador só necessita das coordenadas do seu centro, o ponto inicial e final e a direção de corte. A inclusão deste tipo de interpolação (Figura 4.5) simplificou a programação. [30]

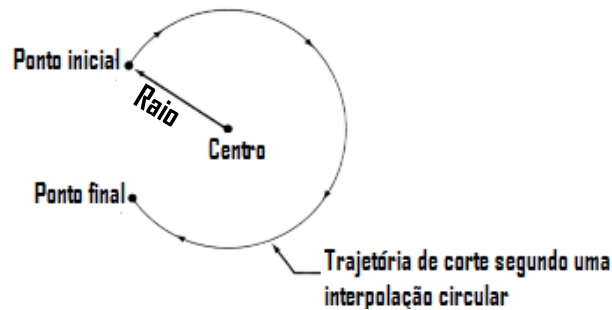


Figura 4. 5 Interpolador circular [30]

1. Elíptica, cria superfícies recorrendo ao utilização de dois eixos para criar contorno e usando um terceiro de forma linear. Permite a criação de diversos tipos de roscado; [30]
2. Parabólica e cúbica, este tipo de interpolação requer um grande poder de computação. Recorrendo a poucos dados de entrada gera superfícies complexas, usadas sobretudo na indústria aeronáutica e automóvel;

As interpolações elíptica, parabólica e cúbica não são tão utilizadas como a linear e a circular. [30]

4.1.3 Programação incremental ou absoluta

Os sistemas de controlo numérico diferenciam-se ainda em dois tipos de programações principais: incremental ou absoluta. [23]

Na programação incremental, o ponto de referência utilizado para uma operação é o ponto da operação anterior. O ponto de referência toma o valor de origem (0,0) e o movimento dos eixos será realizado em função deste. Uma vez atingido a nova posição e realizada a tarefa, este ponto assume o novo valor de origem.

Por outro lado, na programação absoluta, existe um ponto de referência fixo na máquina, geralmente nos limites da paleta, designado por “zero da máquina” em gíria oficial, e todas as operações de deslocação são realizadas em função deste ponto.

Este ponto fixo é característico da máquina-ferramenta, mas também pode ser atribuído pelo operador. Contudo, este ponto “flutuante” não pode ser alterado uma vez iniciado o programa.

Este princípio pode-se observar na Figura 4.6, em que um mesmo deslocamento está descrito nos dois tipos de programação.

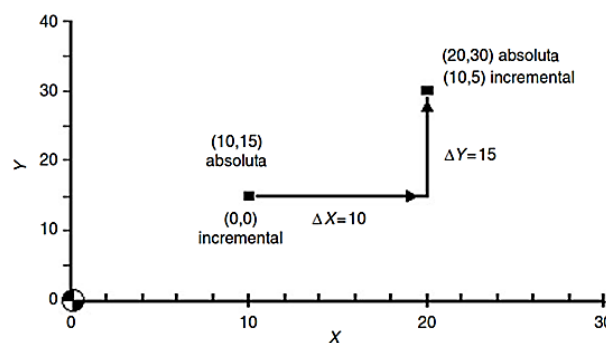


Figura 4.6 Exemplo de programação incremental e absoluta [20]

Existem algumas vantagens na utilização de programação absoluta em relação à incremental. A principal prende-se com a propagação de erros. Uma vez que na programação incremental os pontos de referência, são os pontos das operações, um erro na medição destes pontos propagar-se-á por toda a peça. [23]

Por outro lado, no caso da incremental, quando existe uma paragem inesperada (devido a fratura na ferramenta de corte ou por necessidade de inspeção por exemplo), o programa tem de recomeçar do seu ponto inicial. [23]

4.1.4 Ciclo de controlo: malha aberta ou malha fechada

Em sistemas de malha aberta (Open Loop Systems), representado na Figura 4.7, todas as deslocações efetuadas, não são controladas, desconhecendo o sistema se o movimento efetuado foi o correto, ou se este foi realizado. [29]



Figura 4.7 Esquema de funcionamento de um sistema de malha aberta [21]

Por outro lado no sistema de ciclo de controlo em malha fechada (close loop system), representado na Figura 4.8, o movimento realizado é constantemente medido e comparado com a informação do programa. Se a ação obtida não corresponder à informação lida no programa, existe um erro que é comunicado ao sistema de controlo. Este é analisado, e o sistema irá deslocar os seus eixos de forma a reduzir ou corrigir este erro. [20]

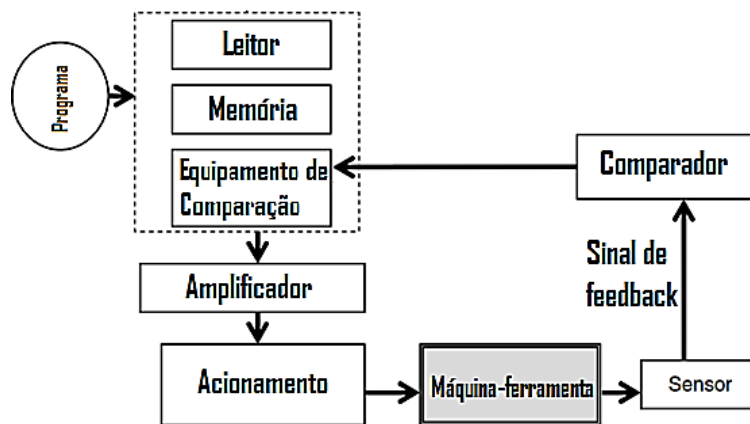


Figura 4. 8 Esquema de funcionamento de um sistema de malha fechada [21]

Este tipo de ciclo de controlo, privilegia a utilização de servo sistemas, que têm por função a redução dos erros de contorno numa operação de maquinagem.[31]

No entanto este servo sistemas, requerem a utilização de acionamento e sensorização avançada que será alvo de estudo aprofundando nos capitulos 4.2.5 e 4.2.6

4.2 Componentes

Uma máquina-ferramenta possui diversos componentes que se podem dividir em 3 grandes blocos:

- A unidade de controlo (CNC);
- A máquina-ferramenta;
- As unidades de potência (motores);

A conjugação destes dispositivos deve ser responsável pela produção de peças com elevada qualidade de acabamento superficial, de forma automática e rápida.

No próximo capítulo proceder-se-á identificação e caracterização dos componentes mais importantes encontrados numa máquina-ferramenta CNC

4.2.1 Controlo

A realização de trabalhos de maquinagem em máquinas-ferramentas CNC, inicia-se na programação do programa-peça, Este geralmente concentra em si, toda a informação necessária para conceber um determinado produto. [30]

O programa peça contém então a informação da trajetória, da velocidade de corte e movimentação, do tipo de ferramenta e compensações necessárias.

Uma vez carregado o programa para a memória do controlo, este corre uma rotina de diagnóstico, podendo detetar falhas na programação. [32]

Por este motivo, uma unidade de controlo pode conter vários processadores de informação, dependendo das tarefas requeridas e essencialmente do número de eixos que a máquina em questão possui. [28]

A unidade de controlo CNC por sua vez, está dividida em 3 blocos [20]:

-MMI (Man-Machine Interface), que garante a comunicação entre o operador e a máquina, faz o display da informação acerca do estado da máquina e fornece funções de edição do programa da peça;

-NCK (Numerical Control Kernel), responsável pela interpretação do programa da peça e da maquinagem, processa esta informação e controla a posição e compensa erros. Para além disto, controla os motores, sendo responsável pela produção da peça.

-PLC (Programmable Logic Control), este componente é responsável pelo controlo da máquina-ferramenta à exceção dos motores dos eixos, ou seja de funções como a troca de ferramenta e peça e velocidade da árvore;

No seguinte esquema, podemos observar a arquitetura do sistema de informação de uma unidade de controlo CNC.

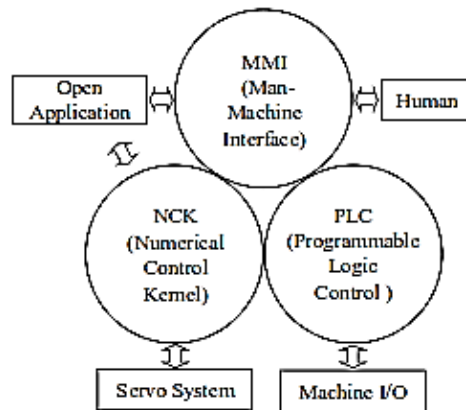


Figura 4. 9 Arquitetura do sistema de informação de uma unidade de controlo CNC [32]

Agregado a este sistema incluem-se as memórias, que guardam, módulos, rotinas e sub-rotinas para auxiliar o operador a cumprir as suas tarefas.

Uma das vantagens dos sistemas CNC encontra-se no seu display gráfico que permite, entre outras coisas, a simulação do programa peça no visor da máquina, autodiagnóstico e a gestão e manipulação da informação.

Para rápida introdução de informação na máquina-ferramenta o operador utiliza o painel de comando, sendo este o único componente dos sistemas CNC que está exposto. [28]

Possui diversos botões, que servem para introduzir os valores relevantes para a maquinagem, e utiliza diferentes ciclos ou sub-rotinas. Possui ainda um botão de emergência para rápida paragem de qualquer operação. [28]

Para além das funções de produção, geralmente o controlo apresenta ainda rotinas de autodiagnóstico. [21]

Esta característica é essencial, uma vez que a complexidade deste tipo de equipamentos aliada ao elevado número de componentes mecânicos e eletrónicos, pode traduzir-se numa manutenção complexa e dispendiosa, e no caso de avaria o total desconhecimento da sua fonte. [32]

Geralmente, este sistema divide-se em três módulos:

- Monitorização do estado, responsável pela recolha constante de informação
- Diagnóstico de falha, módulo que interpreta a informação recolhida e armazenada e identifica uma falha ou a sua iminência;
- Recomendação de reparação, através da análise da avaria, o sistema fornece recomendações para os procedimentos a serem efetuados para retornar o equipamento ao seu bom estado funcional;

Estas funções, tornam-se muito valiosas na manutenção e reparação de sistemas eletromecânicos, uma vez que a sua programação e recomendação de reparação foi geralmente realizada por especialistas em manutenção. [32]

4.2.2 Estrutura

A estrutura de uma máquina-ferramenta, segundo Thyer [33], servirá de apoio para todos os outros componentes funcionais da máquina, e deve por isso ser capaz de resistir ao conjunto de forças geradas durante os processos de fabrico.

Estas forças resultantes das operações de arranque de apara, têm intensidades e sentidos variados. Por este motivo, a estrutura se deve deformar (mover nem sofrer flexão), mantendo a sua integridade estrutural, o alinhamento e posicionamento dos componentes a que lhe estão associados. [33]

Em suma, como afirma Dupont [34], “cada ponto do corpo deve resistir a ações múltiplas: corte, tração, compressão, flexão, torção, encurvadura, essencialmente variáveis porque dependem dos esforços solicitados pelo corte e pela posição da ferramenta.”.

Por outro lado o desgaste, aquecimento localizado ou choques podem provocar deformações e desequilíbrio na estrutura interna do material. Para garantir a invariabilidade das características física da estrutura, recorre-se a tratamentos de envelhecimento natural ou artificial [29]

Para além deste conjunto de características, existem ainda consideráveis forças de inércia e vibrações, provocadas por variações bruscas de velocidade.

Sendo assim, o correto dimensionamento da estrutura de uma máquina-ferramenta será essencial para a qualidade final dos produtos produzidos. [33]

O seu dimensionamento depende entre outros aspetos dos materiais utilizados, estes podem ser:

- Ferro Fundido;
- Betão;
- Aço;

Ferro Fundido

A utilização do ferro fundido prende-se com as suas características naturais aliadas ao vasto conhecimento adquirido na sua manipulação e produção.

O ferro fundido possui excelentes propriedades de amortecimento de vibrações, provenientes do seu reduzido módulo de elasticidade, que lhe permite grandes deformações.

Para se reduzir ainda mais as vibrações recorre-se à utilização de grandes massas de material. A sua inércia opor-se-à a movimentos bruscos. [33]

Betão

A utilização de betão para construção de máquinas-ferramentas, tem como objetivo a redução do preço da estrutura das mesmas, sendo este aplica apenas na fundação. [33]

Na base de betão serão fixadas guias metálicas, às quais os restantes componentes funcionais da máquina são acoplados.

A substituição de grandes massas de ferro fundido por betão, torna-se economicamente mais viável. Por outro lado, as propriedades de amortecimento de vibrações do betão são consideráveis. Para além disso a sua baixa condutividade térmica reduz a troca de calor da apara para o resto da estrutura da máquina. [33]

Aço

Segundo Thyer [33], a construção de máquinas ferramenta em chapa de aço soldada, têm registado um aumento, uma vez que a redução no peso aliada à

distribuição do material por zonas onde é mais necessário apresenta grandes vantagens.

Na sua construção são utilizados chapas de aço macio, unidas por soldadura em arco, formando nervuras que aumentam a rigidez estrutural deste elemento. [34]

Para além disso, a produção da estrutura da máquina-ferramenta em ferro fundido é uma operação complexa e custosa. A sua divisão em elementos, posteriormente soldados, simplifica este processo, permitindo ainda a utilização de diferentes tipos de materiais para responder a diferentes solicitações. [34]

Existem outros aspetos que devem ser considerados numa estrutura para uma máquina-ferramenta, entre eles a remoção da apara toma lugar de destaque uma vez que a acumulação de apara pode provocar gradientes térmicos que em situações limite, podem prejudica o alinhamento preciso das corredeiras. Por outro lado a sua acumulação, pode dificultar o deslocamentos efetuados nos eixos da máquina-ferramenta, a obstrução da troca de ferramenta ou de peça e o desgaste por atrito das superfícies funcionais. [33]

4.2.3 Corredeiras

As corredeiras, ou guias, de uma máquina-ferramenta são um elemento estrutural muito importante pois são responsáveis pelo movimento efetuado por esta ao longo de um eixo. [35]

Estas, à semelhança de outros componentes de uma máquina-ferramenta devem ser de construção rígida e cuidada, uma vez que têm de suportar e absorver elevadas forças (estáticas e dinâmicas) durante as operações de maquinagem. Estas cargas aplicadas podem fazer variar a forma e também o deslocamento realizado, podendo afetar por isso o rigor dimensional e geométrico das peças produzidas. [35]

Geralmente estas só permitem deslocamentos lineares, restringindo o seu movimento a apenas uma grau de liberdade. [35]

Segundo Youssef [21], existem diferentes classificações para as corredeiras utilizadas na construção de máquinas-ferramentas, optando-se neste estudo pela classificação segundo a forma de movimento. A Figura 4.10 resume os principais tipos de corredeiras:

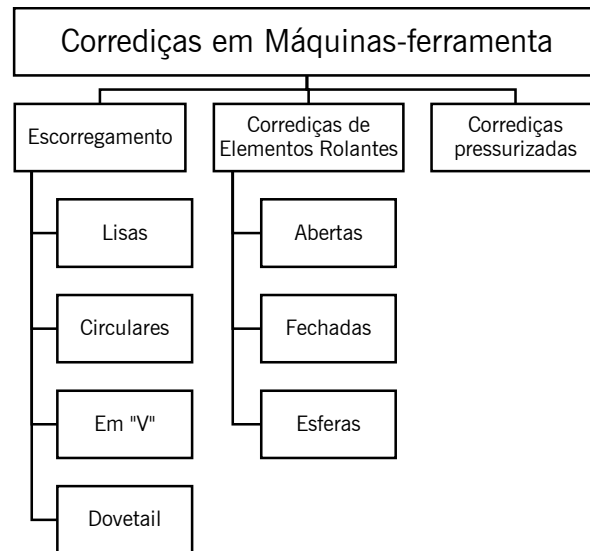


Figura 4.10 Tipos de corrediças em máquinas-ferramentas [21]

Importa salientar a existência de outros tipos de guias aplicáveis mas de pouca expressão na indústria (até à presente data), como é o caso de guias de elementos elásticos e de levitação magnética.

As corrediças de deslizamento funcionam por contacto entre as superfícies. Para a redução do atrito recorre-se a lubrificantes no estado líquido ou solido.

No entanto, apesar da lubrificação, Stoeterau [35] afirma que existe neste tipo de corrediças a ocorrência de um fenómeno de “stick-slip”. Este fenómeno, descrito na figura 4.11, ocorre devido às elevadas pressões na fina camada de lubrificante que separa as duas superfícies e provoca variações na força de atrito, que dificulta o controlo do movimento relativo.

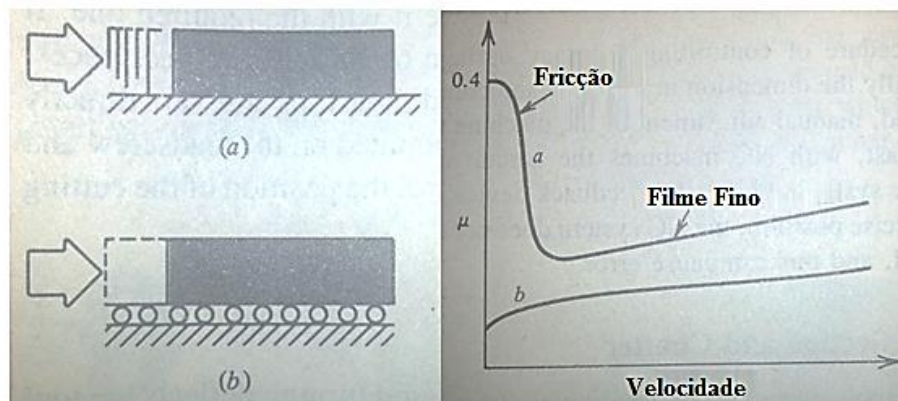


Figura 4.11 Registo de fenómeno de Slip-stick em dois tipos de deslocamento, a) escorregamento b) deslizamento [23]

Na figura 4.12, encontram-se alguns perfis típicos de corrediças de deslizamento que se encontram vulgarmente em máquinas-ferramentas convencionais e de controlo numérico.



Figura 4.12 Tipos de corrediças de escorregamento [21]

Este sistema de corrediças recorre à fricção como meio de funcionamento, como tal o desgaste nas superfícies em questão irá alterar a geometria das mesmas, alterando dessa forma o resultado final das peças obtidas. [34]

Por outro lado a necessidade de produzir na própria estrutura da máquina as superfícies de deslizamento, aumenta o custo de produção da mesma, uma vez que é conveniente que este par tribológico tenha elevada qualidade superficial, caracterizada por baixa rugosidade. [34]

Segundo Dupont [34], as corrediças de elementos rolantes, ocupam posição de destaque em aplicações em que a sensibilidade e repetibilidade de movimento são o fator de interesse.

Estes dispositivos de construção complexa assentam o seu princípio de funcionamento, na inserção de esferas, rolos ou agulhas entre duas superfícies que se deslocam de forma independente, como observado na figura 4.13, minimizando dessa forma o atrito. [32]

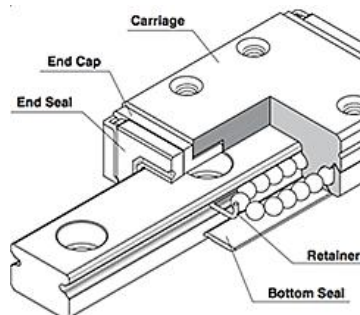


Figura 4.13 Vista em corte de uma corrediça de elementos rolantes [28]

Este tipo de corrediças tem por principais vantagens:

- Maior sensibilidade no posicionamento;
- Maiores velocidades de avanço (permitindo o aumento da produtividade em 20 a 30%, devido à diminuição do tempo de não produção)
- Exatidão e fiabilidade, levando a ciclos de vida longos.
- Ausência de stick-slip
- Fácil instalação e manutenção simples e rápida;

O terceiro tipo de corrediças, pressurizadas ou de filmes finos, são semelhantes em construção às corrediças de deslizamento, no entanto não existe contacto direto entre superfícies, existindo sempre uma camada de fluido a separar as duas, Figura 4.14. Este fluido é mantido sobre pressão para garantir a totalidade da separação dos elementos. [35]

Este tipo de corrediças tem por vantagens:

- Elevada rigidez funcional;
- Movimentos mais uniformes;
- Baixos níveis de atrito, diminuindo dessa forma o desgaste;
- Maior dissipação do calor;

Sendo por estes motivos o sistema ideal na maior parte das aplicações. Contudo o facto de ter de ser incluído na estrutura da máquina com níveis de qualidade de acabamento superficial e toleranciamento muito rigoroso, de necessitar de uma manutenção regular e cuidada, tornam este sistema pouco viável economicamente. [35]

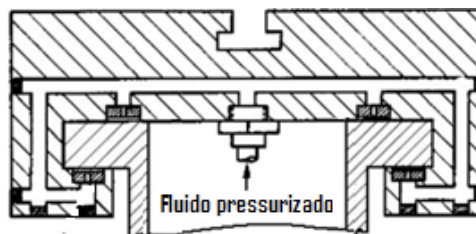


Figura 4.14 Guias Pressurizadas [29]

4.2.4 Transmissão mecânica

A transmissão nas máquinas ferramentas é uma questão fundamental, comportando dois tipos de elementos:

- Elementos transmissores de movimento;
- Elementos conversores de movimento;

O primeiro caso corresponde a elementos que transmitem o movimento desde a sua fonte até ao local onde ela é necessária, sempre na mesma forma de movimento (linear ou circular).

Por outro lado os conversores realizam a alteração do tipo de movimento.

A transmissão de potência deverá ser a mais direta possível, sendo a situação esquematizada na figura 4.15, a aplicação ideal de um sistema de acionamento nos fusos. [32]

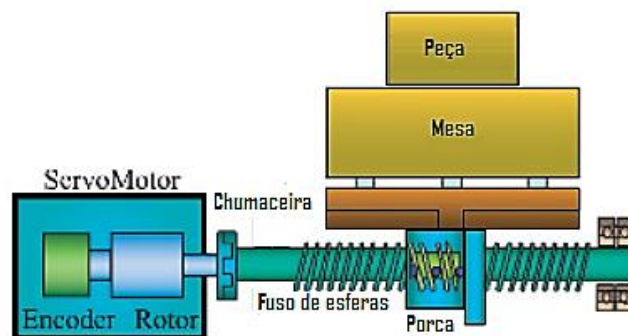


Figura 4.15 Exemplo de um sistema de atuação direta

No entanto esta solução nem sempre é possível sendo necessário dimensionar uma cadeia cinemática. Esta deve assegurar a correta transmissão de potência, ser de construção rígida e sem folgas, para permitir o posicionamento exato da ferramenta de corte na área de trabalho. [34]

Para além disto a transmissão deve responder de forma rápida, necessitando portanto de possuir baixa inércia, o que permitirá diminuir os tempos de deslocamento e aumentar o período de maquinagem efetiva. [29]

Estas cadeias cinemáticas podem ser realizadas por um grande número de dispositivos de entre os quais:

- Engrenagens
- Correias e Correntes;
- Rodas de atrito;

Existem outros órgãos de máquinas capazes de realizar esta tarefa, no entanto estes são geralmente, os mais utilizados em máquinas-ferramentas. [21]

Na tabela 4.1, observam-se as principais características de diferentes tipos de elementos de transmissão de movimento.









Tipo	Trens de Engrenagens	Engrenagem/Sem-fim	Engrenagem/Cremalheira	Rodas de atrito	Correias			Correntes
					Planas	Em "V"	Dentadas	
								
Custo	Médio	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Vibrações	Alto	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Alto
Sincronismo de movimento	Alto	Alto	Médio	Alto	Médio	Médio	Alto	Médio
Capacidade de transmissão	Alta	Alta	Alta	Baixa	Média	Média	Média	Alta
Facilidade de Manutenção	Média	Média	Média	Baixa	Alta	Média	Média	Alta
Vida Útil	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Média	Média

Tabela 4. 1 Classificação de elementos de transmissão de movimento e suas características [35]

As engrenagens são elementos de máquinas que transmitem movimento de um eixo para outro por meio de dentes que entram em contacto sucessivamente uns com os outros. Estas permitem elevadas capacidades de transmissão e uma vida útil longa, no entanto são mais caras e de dimensionamento e aplicação mais complexa que correias ou correntes. [36]

As correias e correntes, denominadas por Shigley [37], como elementos de transmissão flexíveis, simplificam o design e produção de uma máquina-ferramenta, diminuindo assim o seu custo.

Para além disso, por serem elementos flexíveis contribuem para a absorção de vibrações, aumentando dessa forma a vida útil dos elementos de acionamento. [37].

Existem vários tipos de correias, sendo as planas e as dentadas as mais utilizadas em máquinas-ferramentas. [36]

Com um princípio de funcionamento semelhante, as correntes, são utilizadas em aplicações em que a ausência de escorregamento é essencial e a potência a transmitir é elevada. [36]

Conversão de Movimento

Segundo Slocum [36], na maioria das máquinas-ferramentas atuais, o acionamento é realizado por máquinas de ação rotativa. No entanto, excetuando a árvore principal, todos os movimentos de máquina-ferramenta CNC, são deslocamentos lineares.

Existe então a necessidade de converter o movimento de rotação em movimento linear.

Como afirma Stoeterau [35], existem várias formas de converter o movimento circular em linear, no entanto na Tabela, 4.2, resumem-se as principais utilizadas nas máquinas-ferramentas CNC e suas principais características.








Tipo	Pinhão/ Cremalheira	Polias	Rodas de Atrito	Fusos			
				Trapezoidais	Esfers Recirculantes	Epicycloidais	Hidrostáticas
							
Custo	Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Alto	Muito Alto
Vibrações	Alta	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa
Exatidão de Posicionamento	Baixo	Média	Médio	Baixa	Alta	Alta	Alta
Capacidade de transmissão	Alta	Baixa	Muito Baixa	Alta	Alta	Alta	Alta
Facilidade de Manutenção	Alta	Alta	Baixa	Media	Média	Baixa	Baixa
Atrito	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Muito Baixo
Vida Útil	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Alta	Muito Alta

Tabela 4. 2 Classificação de elementos de conversão de movimento e suas características [35]

Apesar da Tabela 4.2 referir a utilização de vários sistemas de conversão de movimento, nas máquinas-ferramentas atuais a utilização de fusos tornou-se predominante. Na figura 4.16 encontra-se a representação de um fuso de esferas. [23]



Figura 4.16 Fuso de esferas recirculantes [21]

Os fusos de maneira geral podem ser classificados quanto à forma do atrito a que estão sujeitos:

- Fusos de escorregamento trapezoidais;
- Fusos de elementos rolantes;
- Fusos epicicloidais;
- Fusos hidrostáticos.

No entanto em aplicações em que não sejam permitidas folgas ou atrito excessivo, e muito rigor no deslocamento relativo, existe uma predominância na utilização de fusos de esferas recirculantes em relação a outros sistemas de fusos.

Este predomínio assenta numa maior relação custo-benefício registado neste tipo de fusos. [23]

Na figura 4.17, o esquema de funcionamento de um fuso de esferas recirculantes.

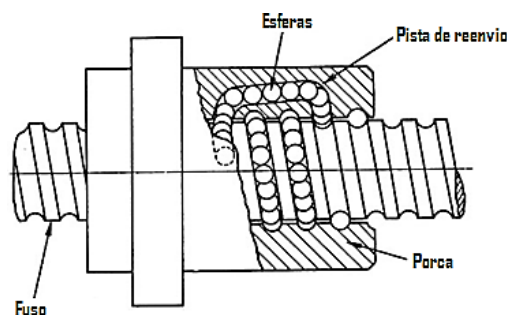


Figura 4.17 Vista em corte de um fuso de esferas recirculantes [21]

De forma a permitir o movimento contínuo, este tipo de fuso recorre ao sistema de recirculação, que consiste na introdução na porca do fuso, de pistas de reenvio das esferas que produzem o movimento relativo.

Segundo Youssef [21], este dispositivo de conversão de movimento tem por vantagens:

- Elevado rendimento mecânico (por este motivo, não são auto-imobilizados);
- Vida útil longa;
- Menor potência de acionamento;
- Ausência de stick-slip;
- Maiores velocidades;

Como se pode observar no na Figura 4.18, o fuso de esferas apresenta um aumento do rendimento mecânico considerável relativamente aos fusos trapezoidais convencionais.

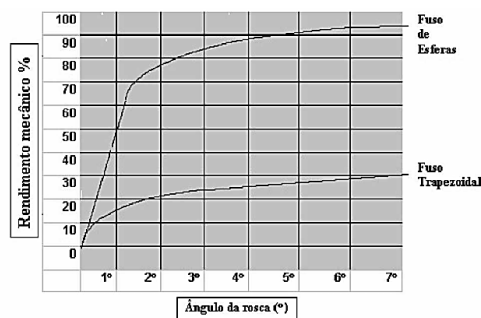


Figura 4.18 Comparação dos rendimentos entre fusos trapezoidais e de esferas com o ângulo de rosca [29]

Como anteriormente referido, os fusos de esferas não possuem folgas axiais.

Esta característica provém do seu design que recorre à conjugação de duas porcas e de um calço. Este sistema (Figura 4.19) de pré-carga inicial permite eliminar a folga axial e dessa forma aumentar a rigidez do conjunto e a exatidão e repetibilidade do posicionamento [28]

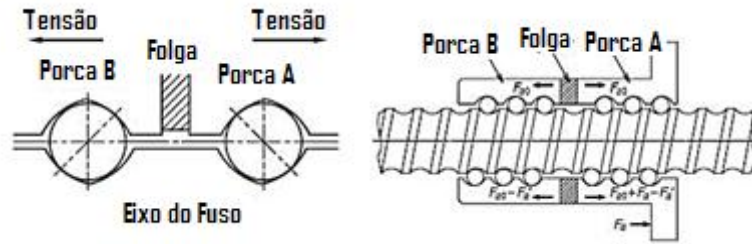


Figura 4.19 Sistema de eliminação de folga axial por aplicação de força de pré-tensão [21]

Para garantir a estabilidade e fixação dos fusos de esferas, recorre-se a utilização de chumaceiras.

Segundo afirma Fiorellino [38], “as chumaceiras que suportam o fuso devem ser rígidas. O máximo de rigidez é encontrado com uma sapata axial em cada extremidade do fuso. Esta é colocada com uma pré carga em tração para compensar as dilatações térmicas.”.

4.2.5 Acionamento

Atendendo as características de funcionamento das máquinas-ferramentas, existem dois tipos principais de acionamento, o rotativo e o linear.

Acionamento rotativo

O acionamento rotativo é o tipo de acionamento mais vulgar em máquinas-ferramentas CNC. Isto acontece devido à facilidade da sua aplicação e à sua diversidade de opções, entre elas:

- Sistemas de acionamento elétrico;
- Sistemas de acionamento hidráulico;

Um sistema de acionamento elétrico consiste na utilização de um motor elétrico como fonte de potência para o funcionamento da máquina-ferramenta. [30]

Entende-se por motor elétrico, todo o dispositivo que transforme energia elétrica em energia mecânica (Figura 4.19)

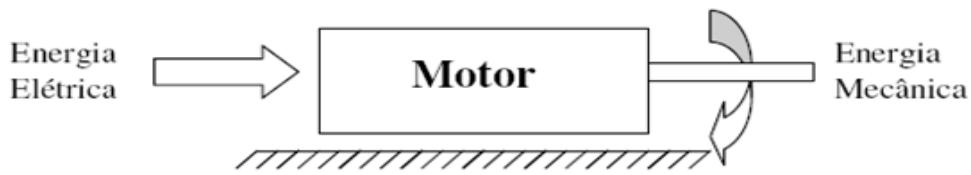


Figura 4. 20 Princípio de funcionamento de uma máquina elétrica

Na sua maioria os motores elétricos funcionam devido à interação entre campos eletromagnéticos, no entanto existem motores elétricos que devem o seu funcionamento a fenômenos electrostáticos.

O funcionamento destes motores assenta na Lei da Força de Lorentz. Esta é a força exercida numa partícula carregada devido à existência de um campo eletromagnético. [39]

A força de Lorentz pode-se considerar como a sobreposição da força devida ao campo elétrico e da força devida ao campo magnético.

Matematicamente, a força de Lorentz é dada pela equação 4.1:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad .(4.1)$$

Em que F representa a força de Lorentz, q a carga elementar, E o vetor campo elétrico, v a velocidade da partícula e B o vetor campo magnético. [39]

Em termos práticos, este princípio físico garante a existência de uma força mecânica num fio condutor, quando imerso num campo magnético, sendo esta perpendicular ao fio e ao campo magnético, como exemplificado na Figura 4.20.

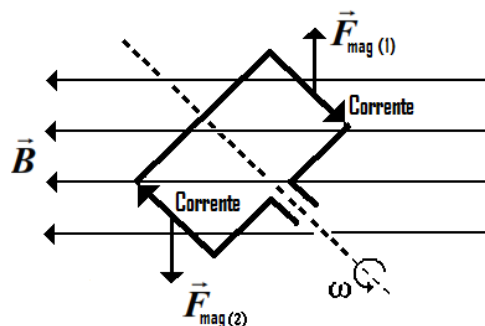


Figura 4.21 Princípio da força de Lorentz [40]

Em motores elétricos, existe uma parte fixa, o estator, e um componente móvel, o rotor. O dispositivo gera um binário (W) porque os fios condutores e o campo magnético produzido são distribuídos de modo que a força resultante seja desenvolvida sobre a linha central do rotor [40].

Existem diferentes tipos de motores elétricos, e a sua classificação pode ser confusa e ambígua. Como tal, neste documento considera-se a existência de dois tipos de motores, que se diferenciam pelo tipo de corrente que os alimenta:

- Corrente Contínua
- Corrente Alternada

Na imagem 4.21, pode-se observar a diversidade de opções para acionamentos deste tipo.

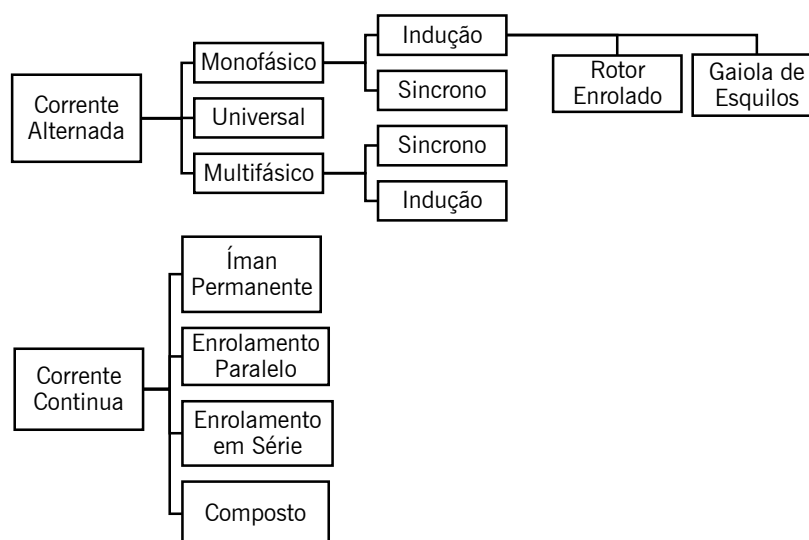


Figura 4. 22Tipos de acionamento elétrico [41]

Os motores de corrente contínua, utilizam retificadores de corrente que transformam a corrente fornecida pela rede (normalmente corrente alternada). Estes retificadores produzem um agravamento no custo de instalação deste sistema. [40]

Por outro lado, o seu controlo permite ajustamentos em gamas de velocidades amplas, e possuem uma grande flexibilidade de funcionamento, aliada a uma grande exatidão e repetibilidade. [40]

A estrutura destes motores assenta em três componentes principais, um estator e um rotor e um comutador, como demonstrado na Figura 4.23. [41]

O estator, produzido com enrolamento em materiais ferromagnéticos, ou um íman permanente, este produz o designado enrolamento de campo, e é alimentado por corrente contínua. No estator verifica-se a existência de polos magnéticos fixos difundidos por todo o estator. [41]

Por outro lado, o rotor é constituído por um enrolamento denominado por armadura e por escovas que permitem o fornecimento de corrente contínua a estes enrolamentos.

A existência de um comutador de corrente, na entrada de corrente para a armadura produz a alternância do sentido da corrente neste componente. Estas correntes produzem polos magnéticos na armadura do rotor. [41]

Da interação entre os polos do estator e do rotor (o polo negativo é atraído pelo polo positivo) resulta um binário no eixo do motor, que por sua vez fará girar o comutador de corrente que irá alterar a polaridade da armadura do rotor. Esta inversão na polaridade do rotor irá obrigar este a deslocar-se novamente em procura do equilíbrio com o campo do estator que como referido anteriormente é fixo. [40]

Esta sequência repete-se durante o funcionamento do motor de corrente contínua, convertendo desta forma energia elétrica em energia mecânica.

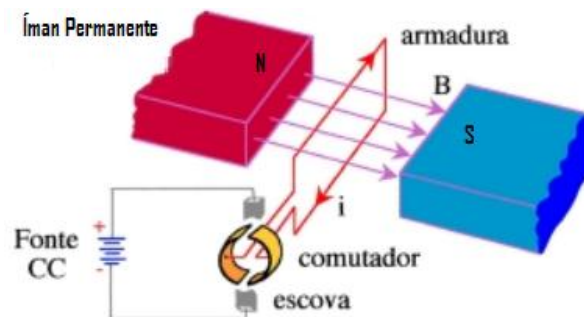


Figura 4.23 Estrutura de motores de corrente contínua [40]

Na Figura 4.24, é estabelecida a relação entre a velocidade nominal de um motor elétrico de corrente contínua de íman permanente, e o seu binário correspondente.



Figura 4. 24 Relação entre a velocidade nominal de um motor elétrico de corrente contínua e o seu binário [41]

Os motores de corrente alternada são largamente utilizados na indústria uma vez que a rede elétrica fornecida também é corrente alternada trifásica. [41]

Para além disso outra grande vantagem dos motores de corrente alternada prende-se com o facto de não possuir escovas, ao contrário da maioria motores de corrente contínua. [32]

Esta particularidade torna estes motores mais robustos e com uma manutenção mais simples e económica. Para além disso os motores de corrente alternada quando comparados com motores de corrente contínua apresentam melhores parâmetros de inércia, eficiência, velocidade máxima, peso e tamanho. [23]

O princípio de funcionamento deste tipo de motores assenta na força de Lorenz como anteriormente referido. Esta surge quando ao estator, construído em aço laminado, é adicionado um enrolamento, ao qual é aplicada corrente alternada trifásica desfasada 120 graus. Os enrolamentos estão dispostos para que todos contribuam de forma positiva para gerar um campo magnético rotativo. [42]

Inserido no seu interior encontra-se o rotor, também constituído por aço laminado com outro enrolamento, denominado por enrolamento de campo. Os dois campos conjugados produzem um binário no eixo do motor. [40]

Estes motores elétricos estão escalonados em velocidades definidas pela frequência de alimentação da rede, geralmente 50 Hz na Europa (Tabela 4.3).

A equação 4.2 estabelece a velocidade síncrona do motor (n_s) em função da sua frequência (f), e do número de polos (p).

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (4.2)$$

Existem motores elétricos de corrente alternada que funcionam a velocidade síncrona, velocidade nominal, dada pela equação 4.2

Os motores síncronos, funcionam a uma velocidade constante (velocidade nominal) e são aplicados em situações onde é necessário um binário e velocidade estável na presença de cargas variáveis. Também pode ser utilizado em sistemas que requeiram elevadas potências e binário. [42]

Por outro lado, os motores assíncronos apresentam um ligeiro escorregamento em relação a velocidade nominal.

Também denominados de motores de indução, funcionam a velocidades estáveis (Tabela 4.3), sempre diferentes da velocidade nominal (assíncrona), que varia com a carga aplicada.

Este tipo de motores são os mais utilizados na indústria, devido:

- Simplicidade de construção e controlo;
- Robustez;
- Baixo Custo;

A principal desvantagem deste tipo de acionamento, prende-se com a necessidade de utilizar caixas de velocidades ou outros sistemas para fazer variar a sua velocidade. No entanto Norton afirma, que a introdução de inversores de frequência, atualmente menos dispendiosos e eficientes, permite controlar de forma simples a velocidade de funcionamento destes motores.

Velocidade de Motores de Corrente Alternada		
Polos	Síncrono [rpm]	Assíncrona [rpm]
2	3600	3450
4	1800	1725
6	1200	1140
8	900	850
10	720	690
12	600	575

Tabela 4. 3 Tabela com velocidades síncronas e assíncronas de motores de corrente alternada [40]

Os motores elétricos são os mais utilizados nas máquinas de controle numérico, porém podem ser utilizados motores hidráulicos

Um sistema de acionamento hidráulico de ação rotativa, apenas é usado quando as exigências de binário são demasiado elevadas para que a utilização de uma máquina elétrica se torne demasiado custosa. [23]

O acionamento hidráulico rotativo, está descrito na figura 4.25. Este sistema é constituída por uma fonte de potência hidráulica, que fornece o fluido na pressão de funcionamento ao motor hidráulico e à servo-válvula. [23]

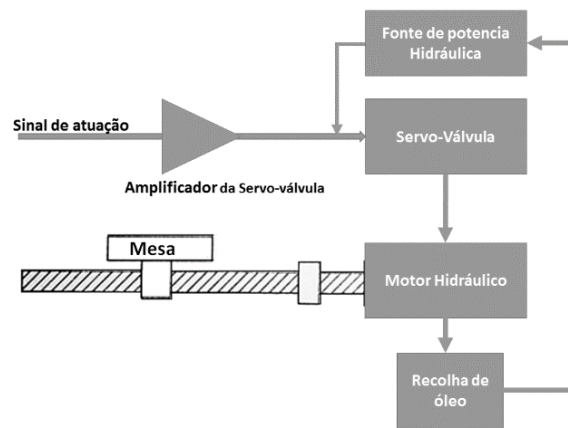


Figura 4.25 Sistema de acionamento hidráulico rotativo [31]

A servo-válvula tem por função, controlar a quantidade de fluido que é admitido no motor hidráulico. Assumindo que a quantidade de fluido pressurizado é constante, a seguinte Equação 4.3, representa o caudal de fluido que percorre a servo válvula.

$$q = K_v \times V \quad (4.3)$$

Na equação 4.3 o termo q simboliza o caudal de fluido, K_v representa uma constante de válvula (em ms), V (volt) corresponde à tensão de alimentação da válvula.

O motor hidráulico terá a sua velocidade de funcionamento a partir de quantidade de fluido que é fornecido pela servo válvula, e seguindo a equação 4.4.

$$v = K \times q \quad (4.4)$$

Na qual, v corresponde à velocidade do motor hidráulico, K é uma constante, e q o caudal de fluido pressurizado (Equação 4.3).

Apesar de este sistema apresentar vantagens na aceleração angular obtida e nos níveis de binário disponível, e de representar uma solução de pequenas dimensões para a quantidade de força fornecida, a sua aplicação é geralmente restrita à movimentação dos eixos de máquinas-ferramentas. Em contrapartida o acionamento com máquinas elétricas pode ser utilizado nos sistemas de posicionamento e de rotação da árvore. [30]

Acionamento Linear

O acionamento rotativo é o mais disseminado em máquinas-ferramentas CNC, no entanto também podem ser aplicados dispositivos de acionamento linear. [36]

No acionamentos linear, o deslocamento é de translação, não sendo por isso, necessário qualquer mecanismo de transformação de movimento.

Ao contrário dos sistemas rotativos, os sistemas lineares não podem ser utilizados na árvore da máquina-ferramenta, ficando a sua aplicação circunscrita aos deslocamentos dos eixos de trabalho. [23]

São exemplo dos principais tipos acionamento linear aplicável em máquinas-ferramentas CNC:

- Atuadores piezoelétricos;
- Motores elétricos lineares;
- Atuadores hidráulicos;
- Atuadores Pneumáticos;

Os atuadores piezoelétricos tiram partido de uma característica de alguns materiais, que lhes permite, a partir de uma diferença de potencial gerar uma deformação ou vice-versa. Este efeito é normalmente aproveitado para fazer a análise de pressões e deformações, no entanto pode ser usado para criar deslocamentos. [43]

Contudo o curso é muito reduzido, diminuindo e limitando a sua aplicação na área do CNC, sendo normalmente aplicado no ajuste fino de ferramentas de corte. [41]

Os motores elétricos lineares, são motores desenhados para realizar uma translação em detrimento do tradicional acionamento rotativo, figura 4.26 representa o esquema de funcionamento deste tipo de componente

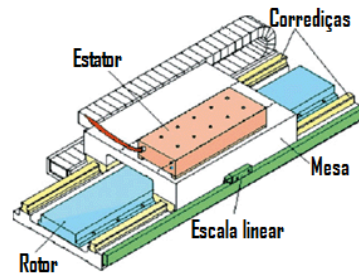


Figura 4.26 Esquema de funcionamento de motor elétrico linear [41]

Neste tipo de transdutor elétrico o tradicional “rotor”, é aberto, representado o seu comprimento o curso máximo do motor. O estator é fixado diretamente por cima do rotor, sendo o seu deslocamento suportado por corredeiras.

Bolton, enumera as seguintes vantagens deste tipo de acionamento:

- Elevadas acelerações e velocidades de funcionamento;
- Posicionamento exato;
- Elevada rigidez;
- Funcionamento suave e sem folgas;

Porém o seu elevado custo de aquisição e de manutenção diminui a sua aplicação. [43]

Por outro lado, em aplicações que requerem elevadas forças a utilização de atuadores hidráulicos é mais indicada, como referido anteriormente. [32]

Contudo estes sistemas de acionamento apresentam vários problemas no controlo de posição e velocidade. Para além disso o seu custo não é proporcional à potência, sendo demasiado caros para máquinas-ferramentas CNC de pequenas dimensões. [31]

A morfologia deste sistema é em tudo semelhante à apresentada anteriormente (Figura 4.25), diferindo apenas no tipo de motor hidráulico e no movimento por este realizado.

Finalmente, a atuação linear pneumática pode ser utilizada no acionamento de máquinas-ferramentas, no entanto esta tecnologia é mais utilizada em funções auxiliares, como é o caso do acionamento de sistemas de troca de ferramenta de corte ou de peça. [43]

Para além destas aplicações a pneumática é frequentemente utilizada neste tipo de máquinas para a remoção da aparas resultante do corte. Para além disso, recorre-se a esta tecnologia para realizar a lubrificação do corte em situações que a utilização de fluidos de corte seja desaconselhável. [28]

Acionamento em comando numérico

Num sistema industrial, aceita-se um atuador como sendo um dispositivo que transforma um determinado sinal num movimento físico real, mensurável.

Em máquinas CNC, estes atuadores, em particular o sistema de acionamento, são responsáveis pela produção das superfícies de corte. [32]

O sistema de acionamento de uma máquina-ferramenta necessita de desenvolver binário suficiente para ultrapassar as cargas estáticas e dinâmicas, de forma estável. [25]

Estas cargas estáticas provêm do atrito nas guias, chumaceiras e outros elementos de transmissão e conversão de movimento, e das forças de corte registadas no sentido do avanço da ferramenta de corte. [29]

A potência necessária para realizar uma operação de fresagem, é normalmente calculada em função da quantidade de material removido, usando a seguinte Equação 4.5:

$$P_n = u \times v \times d \times w \quad (4.5)$$

Na equação 4.5, o termo P representa a potência necessária para a operação, u a energia específica (em hp/in/min), v a velocidade da mesa (em in./min), d a profundidade do corte (em in.) e w a largura do corte (em in.)

Por outro lado as cargas dinâmicas, ocorrem nos deslocamentos realizados pela máquina-ferramenta. Estas são provocadas pela inércia dos porta-ferramentas, porta-peças, fusos de esferas e o próprio eixo do motor. [25]

Suh [20] enumera assim, doze características que um sistema de acionamento de uma máquina-ferramenta deve apresentar:

1. Binário ou força suficiente para as cargas do sistema;
2. Resolução suficiente para identificar um bloqueio e gerar binário para o ultrapassar;
3. Ser capaz de responder de forma rápida a uma ordem;
4. Elevada aceleração e desaceleração;
5. Fornecer aceleração e desaceleração de forma contínua por longos períodos;
6. Vasta gama de velocidades;
7. Capacidade de controlo de velocidade;
8. Capacidade para longos períodos de atividade;
9. Baixa inércia e exatidão rotacional;
10. Capacidade para gerar binário resistivo;
11. Alta fiabilidade;
12. Boa manutibilidade;

O motor de acionamento da árvore principal da máquina-ferramenta é responsável pela rotação da peça em tornos, e da ferramenta em fresadoras. [29]

Na árvore principal não existe a necessidade de transformar o movimento, podendo o motor de acionamento ser acoplado diretamente. No entanto, quando são utilizados motores de indução, é comum utilizar-se órgãos de transmissão de movimento (correias, correntes, engrenagens) para realização de variações de velocidade (Figura 4.27). [21]

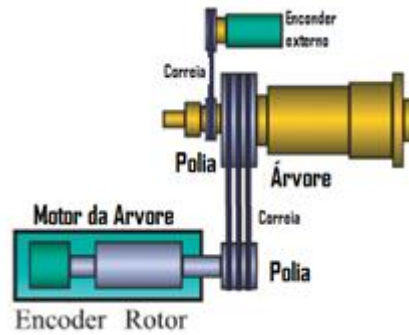


Figura 4.27 Acionamento da árvore principal por servomotor com um sistema de transmissão por correia [20]

O sistema de movimentação dos eixos permite a criação de trajetórias de corte na área de trabalho.

Em máquinas-ferramentas CNC, devido às características anteriormente descritas por Suh [20], tornou-se regra a utilização de servomotores.

Estes dispositivos, apresentam elevados binários e velocidades, permitem o controlo de posição e velocidade, respondendo de forma rápida.

Um servo sistema (do latim “servue”, significa “aquele que realiza fielmente uma ordem”) é todo o sistema que é controlado em malha fechada (ver secção 4.1.4).

Na Figura 4.28, pode-se observar o seu esquema de funcionamento.

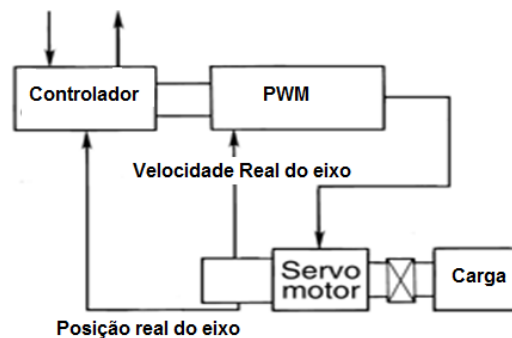


Figura 4.28 Princípio de funcionamento e controlo de um servomotor [21]

A partir de um sinal de comando o controlador do servo-sistema, modela o sinal recorrendo a um dispositivo amplificador, também designado por PWM (Pulse Width Modelator) para que o atuador, no exemplo, um motor, realize uma determinada quantidade de movimento (rotação do eixo a uma determinada velocidade). [25]

Por outro lado o controlador irá, através de diversos sensores, analisar a velocidade real e o posicionamento obtido. [31]

Existem 3 tipos principais de servomotores empregues em máquinas CNC:

- Servomotores de corrente contínua;
- Servomotores síncronos de corrente alternada;
- Servomotores de indução;
- Motores de passo;

Servomotores de corrente contínua

Neste tipo de motores (Figura 4.29) o estator consiste numa estrutura cilíndrica, que permite a passagem de corrente, e suporta um íman permanente que se encontra no seu interior. Por seu lado, o rotor, é constituído por um eixo que contém um enrolamento e as escovas que permitem a transmissão da corrente para o enrolamento. Num dos extremos do eixo encontra-se um sensor de velocidade angular, normalmente um tacógrafo ou um encoder ótico. [20]

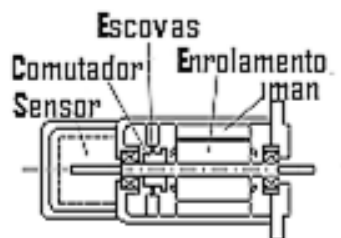


Figura 4.29 Servomotores de corrente contínua [20]

O comutador tem por função alternar a direção da corrente e dessa forma gerar um binário. O controlo deste tipo de servomotores é relativamente simples uma vez que o binário é diretamente proporcional à quantidade de corrente fornecida. [20]

A gama de velocidades obtidas neste tipo de motores é vasta, e o seu binário máximo é limitado pela quantidade de calor que se consegue remover do interior das escovas. As escovas tornam-se a principal desvantagem destes sistemas de acionamento, uma vez que existe perda mecânica provocada pelo seu atrito, necessitando por essa razão de manutenção constante. [41]

Servomotores síncronos de corrente alternada

Nos servomotores síncronos de corrente alternada (Figura 4.30) a estrutura do estator é constituída por uma armadura cilíndrica. Nestes motores o rotor consiste num eixo e num íman permanente (geralmente ferrite). No estator existe um enrolamento alimentado por corrente alternada trifásica, que produz um campo magnético rotativo. A frequência de rotação deste campo é definida pela tensão de alimentação. [42]

Para realizar o controlo em malha fechada este tipo de motores utiliza encoders óticos ou resolvers.

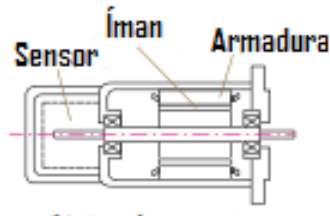


Figura 4. 30 Servomotores síncronos de corrente alternada [20]

Devida a existência de um íman permanente no rotor, estes não precisa de ser alimentado com corrente externa, eliminando por isso a necessidade de escovas.

Esta particularidade apresenta inúmeras vantagens, uma vez que sem escovas, não existe atrito, nem perda de potência mecânica. Por outro lado, a manutenção deste motor é reduzida e podem trabalhar durante mais tempo de forma contínua. [41]

O binário, como em servomotores de corrente contínua, é proporcional à corrente fornecida. [31]

Contudo a sua construção é muito complexa, e devido ao tipo de correntes de alta frequência necessárias na armadura do estator, existe a propagação de vibrações que são prejudiciais ao estado de funcionamento destes motores. [20]

Servomotores de indução

A estrutura e princípio de funcionamento de um servomotor de indução, é semelhante a um motor de indução convencional. Neste tipo de motores o estator é constituído por uma armadura com um enrolamento, que recebe corrente da rede.

O rotor nestes motores é constituído apenas por um eixo produzido em material condutor.

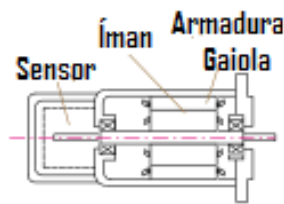


Figura 4. 31 Servomotores de indução [20]

A Tabela 4.4 ilustra de forma sintetizada as vantagens e desvantagens deste tipo de motores.

	Servomotor de Corrente Contínua	Servomotor síncrono de Corrente Alternada	Servomotor de indução
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Preço reduzido; • Vasta gama de velocidades; • Controlo Simples; 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem escovas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura simples; • Não precisa de sensor de posição;
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Dissipação de calor; • Desgaste das escovas; • Barulho; • Precisa de sensor de posição; 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura complexa; • Flutuação do binário; • Vibrações; • Precisa de sensor de posição; 	<ul style="list-style-type: none"> • Paragem dinâmica impossível;
Binário	Baixo	Baixo / Médio	Médio / Alto
Vida útil	Depende das escovas	Depende das chumaceiras	Depende das chumaceiras

Tabela 4.4 Tabela de caraterísticas dos diferentes tipos servomotores [20]

Motores de Passo

Outro tipo de motores utilizados em máquinas-ferramentas são os motores de passo. Estes motores apresentam uma constituição semelhante aos motores de corrente contínua, e são constituídos por um número de polos magnéticos fixo que determinam o número de posições ou passos que o motor apresenta. [40]

A característica principal deste tipo de motores é produzir deslocamentos intermitentes sucessivos até chegar à posição necessária, podendo bloquear o

movimento numa posição desejada durante largos períodos de tempo, sendo que este binário de travagem é muito potente. [43]

São geralmente de dimensões mais reduzidas em comparação com outros tipos de motores elétricos. [41]

Uma desvantagem em relação a servo sistemas é que este motor trabalha em malha aberta, não havendo realimentação de informação, para além disto o seu baixo binário, pode produzir erros de posição. [40]

4.2.6 Instrumentos de medição

As máquinas de comando numérico devem a sua versatilidade ao sistema de controlo em malha fechada, que permite produzir produtos de forma automática.

Para além disto, para se obter superfícies de qualidade, é necessário um grande rigor e exatidão nas medições e no acionamento: Assim Groover [32], estabelece três princípios que definem a exatidão de uma máquina-ferramenta:

- Resolução;
- Exatidão;
- Repetibilidade

A resolução define-se pela capacidade do sistema de controlo identificar e dividir o deslocamento dos eixos no maior número de blocos, de reduzidas dimensões, adjacentes.

Estes blocos, designados por adereços, são coordenadas de localizações físicas que a máquina é capaz de reproduzir. [24]

A resolução de uma máquina-ferramenta depende de fatores eletromecânicos e computacionais. O primeiro aspeto diz respeito por exemplo, ao passo de um fuso de esferas ou à quantidade de passos de um motor de passo, assim como da resolução inerente de um encoder de um servomotor.

Por outro lado, o número de bits reservados pelo PLC para designar um eixo de deslocamento da máquina em questão. [30]

A exatidão designa o erro máximo possível entre a posição estabelecida pelo programa peça e a posição real e o ponto referência da máquina. Esta posição desejada necessita de ser conjugada com a resolução da máquina. [23]

Finalmente a repetibilidade, traduz-se como a capacidade de uma máquina-ferramenta voltar a uma determinado adereço de forma recorrente, sem que a sua posição real, não apresente um grande valor de erro. [23]

Este parametro de exatidão associado a maquinas-ferramentas leva a um rigoroso dimensionamento de todos os componentes utilizados na construção destes utensilios industriais. [25]

Por este motivo, a escolha de dispositivos de recolha de informação é uma tarefa importante.

Na sua maioria os dispositivos de medição utilizados em máquinas CNC, são compostos por dois elementos, o sensor e o transdutor de medição.

O primeiro tem por função medir a variável física, como velocidade, deslocamento, temperatura ou pressão.

O segundo é definido pelo IPQ [27] (Instituto Português de Qualidade) como “dispositivo, usado na medição, que faz corresponder a uma grandeza de entrada uma grandeza de saída segundo uma lei determinada.”

Em máquinas-ferramentas os transdutores de medição, convertem geralmente as medições efetuadas em sinal elétrico analógico. [29]

Este foi previamente calibrado de forma a estabelecer uma correspondência entre a variação da variável física a medir e a sua conversão para sinal elétrico. [32]

Os dispositivos de medição possuem várias características, que os diferenciam. Na Tabela 4.5 observa-se os principais parâmetros que se desejam num instrumento de medição para um sistema complexo como uma máquina-ferramenta de comando numérico.

A posição de um instrumento de medição é um fator muito importante e deve seguir o princípio de alinhamento de Abbe. [44]

Parâmetros	Definição
Exatidão de medição	-Aproximação entre um valor medido e um valor verdadeiro de uma mensuranda, este conceito, não designa uma grandeza e não lhe é atribuído um valor numérico. -Uma medição é dita mais exata quando tem um menor erro de medição.
Fidelidade de medição	-Aproximação entre indicações ou valores medidos obtidos por medições repetidas no mesmo objeto ou objetos semelhantes em condições especificadas -A fidelidade de medição é usualmente expressa na forma numérica por características tais como, o desvio-padrão, a variância, ou o coeficiente de variação, nas condições especificadas.
Grande intervalo de medição	-Conjunto de valores de grandezas da mesma natureza que podem ser medidas por um dado instrumento de medição ou sistema de medição com uma dada incerteza instrumental, em condições especificadas
Tempo de resposta	-Capacidade de resposta rápida a mudanças na propriedade física medida.
Facilidade de calibração	-A calibração deve ser fácil e rápida.
Estabilidade	-Propriedade de um instrumento de medição ou sistema de medição cujas propriedades metrológicas permanecem constantes no tempo
Fiabilidade	-O instrumento de medição não deve estar sujeito a avarias constantes e ser dimensionado para trabalho em condições adversas.
Baixo Custo	-O preço de compra, instalação e funcionamento deve ser baixo.

Tabela 4.5 Características metrológicas e funcionais de instrumentos de medição em máquinas-ferramentas de comando numérico [27] [32]

Este diz-nos que a medição mais correta é obtida quando o eixo do instrumento e a dimensão a controlar estão alinhados, como demonstrado na Figura 4.32.

Quando este princípio não é respeitado devem existir cuidados suplementares na análise dos valores obtidos. [44]

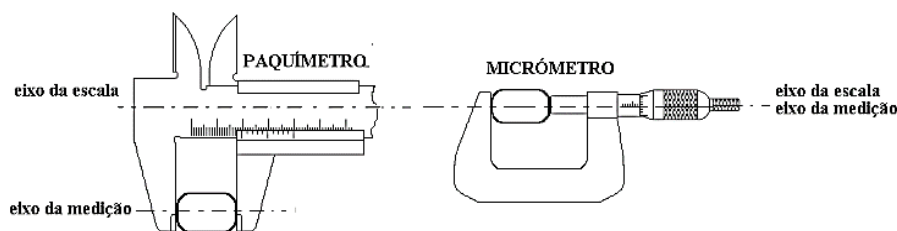


Figura 4.32 Princípio de alinhamento de Abbe

Por este motivo, Thyer [33] afirma que os transdutores lineares devem ser montados de forma a medir o movimento real dos eixos, e os transdutores rotativos devem ser montados numa extremidade do fuso de forma a analisarem a rotação do eixo movido.

Em máquinas de controlo numérico, utilizam-se diversos tipos de instrumentos de medição, os quais se podem dividir por função:

- Velocidade;
- Posição;

Controlo de Velocidade

Na maioria dos motores utilizados em máquinas-ferramentas de comando numérico, o controlo da sua velocidade é realizado por taquímetro, também conhecido por tacómetro. Estes são instrumentos que medem a deslocamento angular de um eixo, a partir do número de revoluções desse eixo por unidade de tempo. [2]

Existem diversos tipos de taquímetros mecânicos, no entanto, em automação industrial, é mais comum a utilização de taquímetros elétricos, que forneçam diretamente um sinal elétrico para ser usado no sistema de controlo em malha fechada. [21]

Estes são constituídos por um transdutor que transforma a leitura do sensor num sinal elétrico digital ou analógico.

Neste tipo de instrumentos de medição, é frequente a utilização de ímanes permanentes acoplados diretamente ao eixo a medir. Envolvendo estes ímanes, encontra-se um estator com diversos enrolamentos. Da interação destes dois componentes forma-se uma corrente elétrica que será proporcional à velocidade angular do eixo a ser analisado. [43]

A equação 4.6 demonstra a relação entre a velocidade angular e a tensão gerada pelo taquímetro.

$$\frac{Vt(s)}{w(s)} = Tg \times Hg \quad (4.6)$$

Nesta equação, o termo Vt representa a tensão resultante, w a velocidade angular do eixo, Hg a constante do taquímetro (variável fixada pelo construtor), Tg o ganho do taquímetro, podendo este ser ajustado pelo operador, e finalmente, s o operador de Laplace. [36]

No mercado existem vários tipos de taquímetros elétricos:

- Taquímetro de correntes parasitas;
- Taquímetro de corrente alternada;
- Taquímetro de corrente contínua;
- Taquímetro de frequência;

Contudo, os mais utilizados em máquinas-ferramentas de comando numérico são os taquímetros de corrente contínua e alternada. [21]

Os primeiros fornecem informação diretamente ao sistema de controlo sem necessitar de qualquer tipo de tratamento. No entanto, o facto de necessitarem de escovas no rotor, diminui a sua vida útil e aumenta o seu custo com a manutenção.

Esta desvantagem não se verifica em taquímetros de corrente alternada, no entanto, o sinal fornecido necessita de ser convertido em sinal digital para ser tratado pelo sistema de controlo. [23]

Geralmente, todos os servomotores possuem, de fábrica, um taquímetro associado, estando este diretamente ligado ao servo sistema. [43]

Controlo de Posição

Em maquinagem com recurso a controlo numérico, o conhecimento da posição da ferramenta de corte em relação à peça é um dos aspetos mais importantes para a obtenção de produtos com qualidade.

Os instrumentos de medição de posição são por este motivo de grande importância e apresentam-se em dois formatos principais:

- Lineares;
- Rotativos;

Os primeiros controlam a posição real da mesa de trabalho e são considerados portanto mais exatos. No entanto, ocupam mais espaço e são mais dispendiosos. [25]

Por outro lado, os instrumentos de medição rotativos são acoplados diretamente ao eixo de acionamento, ou a uma cadeia cinemática, e permitem controlar tanto a velocidade angular como a posição angular do eixo. [28]

Na grande maioria das máquinas-ferramenta CNC os encoders óticos tornaram-se na solução generalizada para o controlo de posição. [25]

No entanto, existem diversos tipos de encoders, que recorrem a propriedades magnéticas (também designados por resolvers), como óticas para obter a sua mensuranda. Contudo, neste documento serão apenas considerados os encoders óticos por serem os mais utilizados em máquinas-ferramentas CNC, fazendo a distinção entre dois tipos de encoders óticos: incrementais e absolutos. [25]

Entende-se encoder ótico como um dispositivo que gera pulsos digitais facilmente reconhecidos pelo sistema de controlo de uma máquina-ferramenta. Estes são geralmente compostos por três componentes, uma fonte de luz, um disco, e um fotodíodo, Figura 4.33. [45]

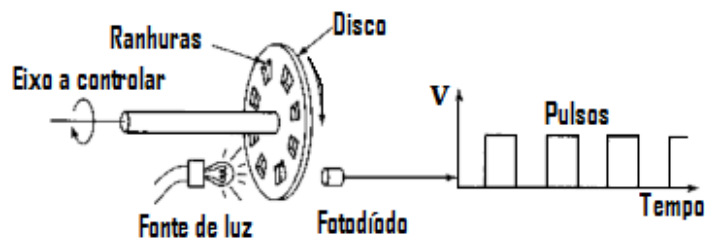


Figura 4.33 Princípio de funcionamento de um encoder ótico [32]

O disco de um encoder ótico é constituído por um conjunto de ranhuras transparentes ao longo da sua superfície que permitem a passagem de luz.

A posição da fonte de luz e da fotocélula, são fixas e conhecidas pelo encoder, a partir da rotação do disco, solidário com o eixo do motor, a luz proveniente da fonte de luz, penetra pelo disco nas ranhuras e é absorvida pelo fotodíodo. [45]

A geração de pulsos por parte do fotodíodo, proveniente da excitação alternada devido a rotação do disco, é convertida em sinais de onda quadrada facilmente interpretadas pelo sistema de controlo do servo sistema. [45]

Esta conversão é realizada por dispositivos elétricos, denominados por flips-flops. Este componente possui memória digital para acumular a informação da

contagem do número de pulsos gerados. Esta contagem é feita num dispositivo de lógica sequencial. A partir da contagem dos pulsos e sua frequência é possível saber o deslocamento realizada e sua velocidade. [32]

Como anteriormente referido existem dois tipos de encoders (Figura 4.34):

-Incremental;

-Absoluto;

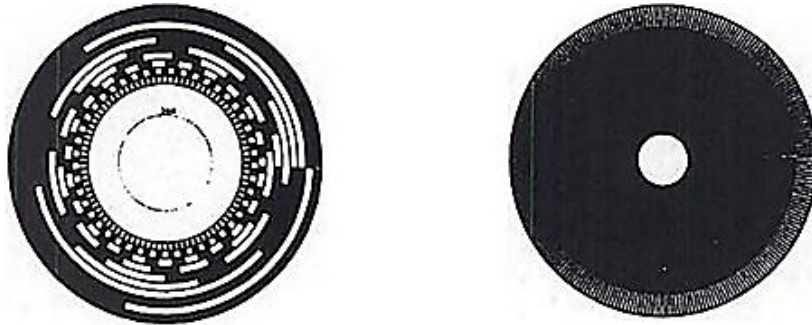


Figura 4.34 Morfologia dos dois tipos de discos de encoder [46]

Segundo Parr [46], os encoders óticos incrementais são a forma mais simples de controlar o deslocamento angular efetuada por um eixo, no entanto, podem fornecer informação ambígua. Para além da simplicidade de construção, e do baixo custo, o facto de necessitar de poucos cabos para transmitir os pulsos gerados é outra vantagem destes dispositivos.

Este tipo de encoders utiliza um ou mais pontos de referência, de localização conhecida, para calcular o deslocamento executado. Este cálculo é realizado a partir da contagem dos pulsos obtidos desde o ponto de referência, e posteriormente incrementados à posição de referência. [47]

Contudo, na eventualidade de falha de energia no sistema, o encoder ótico incremental, perde a sua contagem, necessitando de se deslocar até um novo ponto de referência antes de iniciar nova sequência de movimentos. [46]

Sendo esta considerada a principal limitação deste tipo de encoders, não se verificando o mesmo problema em encoders absolutos. [47]

Este tipo de encoder ótico utiliza um disco ligeiramente diferente, sendo este codificado em código binário, que permite o cálculo da posição real sem necessitar

de conhecer qualquer ponto de referência, ou os deslocamentos realizados anteriormente. [47]

Para além das diferenças encontradas no disco, a posição dos fotodíodos é geralmente diferente. Nos encoders incrementais a posição destes encontra-se deslocada de forma que os sinais de saída estejam desfasados em 90° , como representado na figura 4.35. O desfasamento em causa determina a direção de deslocamento do eixo. [47]

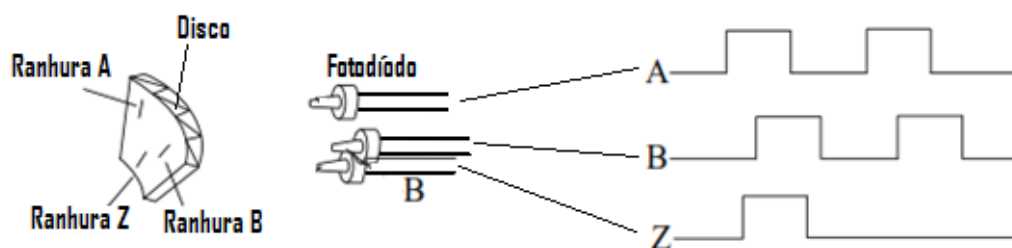


Figura 4.35 Posição dos fotodíodos e sinal de saída de encoders óticos incrementais [20]

Por outro lado, nos encoders absolutos os fotodíodos encontram-se alinhados linearmente (Figura 4.36), e são normalmente em maior número, dependendo este do número de pistas do encoder. A quantidade de pistas representa o número de bits utilizado para fazer a codificação binária da posição.

Devido à utilização de codificação binária, mesmo no momento de início de funcionamento, o sistema de controlo conhece a posição em que o eixo se encontra.

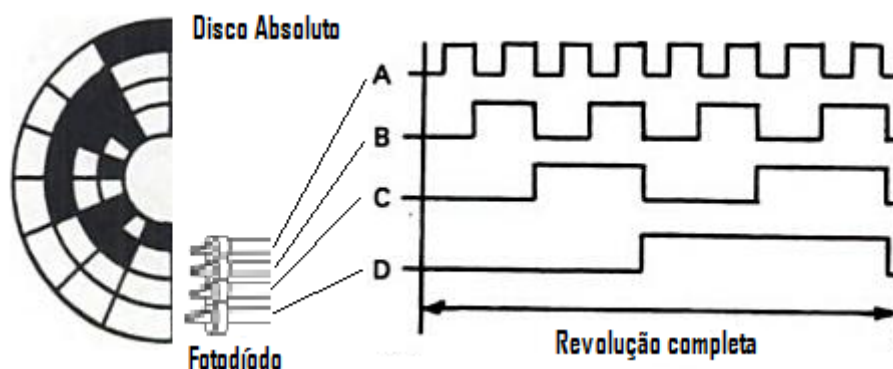


Figura 4.36 Posição dos fotodíodos e sinal de saída de encoders óticos absolutos [46]

Outro tipo de dispositivos utilizados no controlo em malha fechada de uma máquina-ferramenta de comando numérico, e que fornecem informação acerca da posição são os sensores de fim de curso.

Estes têm por função principal evitar que, na eventualidade de uma perda de posição do carro de suporte da ferramenta de corte, este choque acidentalmente com a estrutura da máquina. Quando um destes dispositivos é atuado o sistema é ordenado a parar, ficando nesse momento a conhecer a sua posição real, uma vez que estes servem também de referência para o sistema de posicionamento. [28]

Existem no mercado várias soluções para aplicações de controlo de final de curso, no entanto neste documento irá ser feita apenas a descrição de sensores indutivos, sendo estes os mais aplicados em máquinas-ferramentas de comando numérico. [46]

Segundo Slocum [36] os sensores indutivos de proximidade são compostos por quatro elementos fundamentais:

- Um oscilador;
- Um núcleo;
- Um detetor;
- Um dispositivo de produção de sinal de saída;

Neste dispositivo, o oscilador é responsável pela criação de um campo magnético de grande frequência em torno do centro do núcleo, que é normalmente constituído por ferrite, e focado na direção da frente do sensor. A figura 4.37 esquematiza de forma simplificada o princípio de funcionamento.

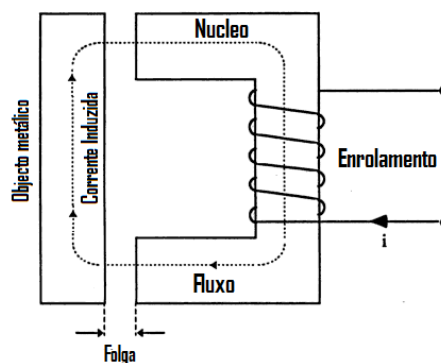


Figura 4.37 Princípio de funcionamento de um sensor indutivo [47]

Quando se regista a entrada de um objeto metálico neste campo magnético, formam-se correntes induzidas neste. Estas correntes induzidas conduzem à remoção de alguma energia do campo magnético, provocando oscilações no mesmo.

A flutuação na intensidade do campo magnético é detetada, e um transístor muda a sua posição, gerando um impulso elétrico, normalmente analógico. [36]

Com a remoção do objeto metálico, existe nova flutuação do campo magnético, alterando da mesma forma o circuito do sistema e invertendo o estado do transístor.

Estes sensores possuem algumas vantagens, como o facto de não existir contato no seu funcionamento, prolongando dessa forma a sua vida útil, têm alta capacidade de resposta, não exigem instrumentos de conversão de sinal, uma vez que funcionam normalmente com tensões normalizadas em máquinas-ferramentas. [47]

5 Planeamento do trabalho

O departamento de Engenharia Mecânica tem como missão a formação de engenheiros prontos a integrar a indústria.

Neste departamento podemos encontrar vários laboratórios, vocacionados para a formação e apoio às atividades pedagógicas. Neste contexto, encontra-se a Oficina de Formação e Apoio que contém vários laboratórios agregados no seu interior.

Para além de possuir um considerável parque de máquinas-ferramentas convencionais de frisar:

- Um limador;
- Um serrote de fita;
- Uma calandra;
- Três tornos;
- Uma fresadora;
- Um serrote mecânico;
- Uma quinadora;
- Um serrote de disco;
- Dois engenhos de furar;
- Um laminador;

Possui ainda um laboratório equipado com máquinas-ferramentas CNC.

Este laboratório detém 2 tornos CNC, 1 Fresadora CNC e um centro de maquinagem.

Este projeto focou-se então no estudo, manutenção e reparação da Fresadora CNC que se encontra neste laboratório

5.1 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo do presente trabalho toma a forma de uma fresadora horizontal de 4 eixos, "Type CU 200H" (Figura 5.1), comandada por um PLC da SIEMENS, modelo SINUMERIK 820, em que a modelação da informação para os servos motores são realizados por um servo sistema, "SIMODRIVE 6SC6101-4A-Z".



Figura 5.1 Chapa de identificação da Fresadora CNC

Esta fresadora pode-se classificar como uma fresadora horizontal, uma vez que o avanço da ferramenta de corte é realizado nessa direção.

A Figura 5.2 representa de forma simplificada a posição dos eixos e o seu movimento.

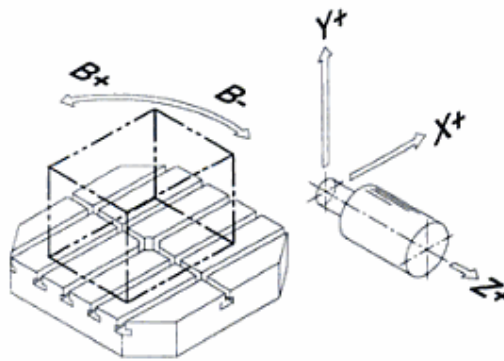


Figura 5.2 Representação dos eixos da fresadora em estudo [48]

Esta máquina-ferramenta possui uma mesa de trabalho, dispositivo no qual é fixada a peça a ser maquinada, rotativa. Este eixo complementar, gira em torno do eixo Y, sendo por esse motivo designado por eixo B.

Uma mesa de trabalho com esta configuração permite uma alimentação de porta-peças fácil e rápida, utilizando um sistema automático de carregamento de paletes. [32]

O equipamento em estudo possui ainda um sistema de troca rápida da peça.

Este é constituído por um alimentador automático de paletes, e dois robôs que permitem a fixação de até quatro paletes.

O estudo iniciou-se com a máquina em avaria, uma vez que devido a causas desconhecidas, a fresadora não efetua qualquer tipo de movimento, seja de deslocamento nos eixos X, Y; Z e B ou de rotação da árvore principal.

Contudo esta realiza tarefas secundárias, como por exemplo subida e descida da cortina de segurança (resguardo), sistema de fixação do porta-peças, sistema de fixação da ferramenta de corte ou sistema de lubrificação da operação de maquinagem.

Por outro lado, o comando apresenta-se funcional, permitindo a visualização e programação, no entanto, apesar de sucessivas tentativas, a máquina-ferramenta não executa qualquer deslocamento.

5.2 Limpeza da máquina-ferramenta

Em qualquer local de trabalho é importante manter as instalações e equipamentos limpos. Esta necessidade prende-se com questões de higiene mas também de segurança, e qualidade.

Num sistema que se exige exato, um excesso de resíduos pode provocar leituras erradas nos sistemas de medição de posição e velocidade. Por exemplo, a obstrução do leitor num encoder, produzindo dessa forma informação de realimentação do sistema de malha fechada falaciosa, com prejuízo na qualidade final das peças produzidas [32]

Por outro lado pode apresentar obstáculo ao correto funcionamento de um dispositivo ou processo, ou aumentar a taxa de desgaste de componentes funcionais, como é o caso dos fusos de esferas.

O objetivo desta atividade seria então renovar o aspeto exterior da máquina e remover todos os resíduos acumulados em zonas de difícil acesso

A máquina-ferramenta em estudo apresentava-se com muita sujidade latente da produção de peças em aço e alumínio mas em especial, de derivados de madeira que ao contrário de materiais metálicos, não deixa apara mas sim uma grande quantidade de pó.

Este tipo de resíduo infiltra-se em todas as ranhuras disponíveis, devido ao seu tamanho diminuto em relação às folgas projetadas para a blindagem da máquina.

Na Figura 5.3, podemos observar ao pormenor o tipo de resíduos resultantes do funcionamento deste equipamento.



Figura 5.3 Acumulação de resíduos junto ao eixo X

De salientar a coloração esverdeada resultante dos derivados de madeira maquinados que se encontravam por toda a fresadora, mesmo em zonas na qual não deveria existir qualquer tipo de resíduos.

Na limpeza da máquina-ferramenta divide-se o trabalho em duas fases:

- Limpeza física da estrutura da máquina
- Limpeza dos componentes elétricos;

Numa primeira fase, adquiriram-se os utensílios necessários a uma correta limpeza da fresadora em estudo. Para a limpeza da estrutura e componentes mecânicos adquiriu-se petróleo de limpeza comum.

Para realização da manutenção dos contactos e dispositivos elétricos adquiriu-se “líquido de limpeza de contatos elétricos”.

Com o intuito de realizar esta tarefa, procedeu-se à remoção de alguns componentes auxiliares na máquina-ferramenta, como foi o caso de alguns partes da blindagem e o dispositivo de alimentação automática de paletes (Figura 5.4)

Nestes elementos incluíam-se um atuador pneumático “FESTO”, e dois sensores de fim de curso “Balluf”.

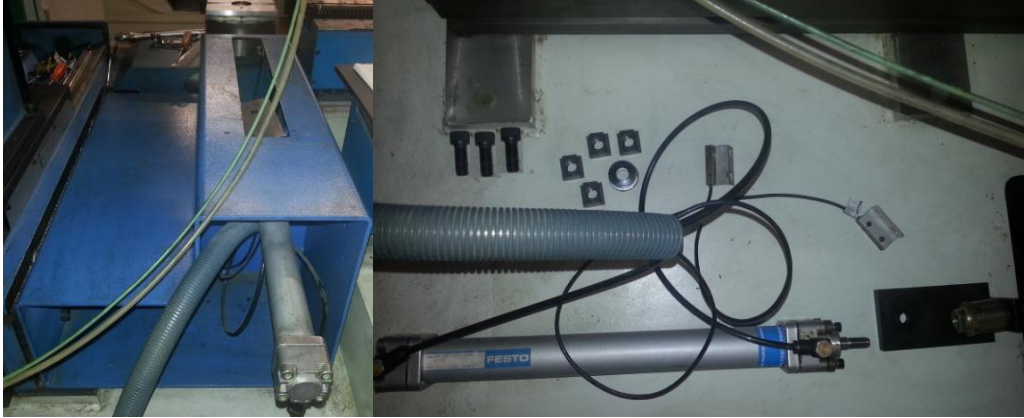


Figura 5.4 Peças removidas da máquina-ferramenta em estudo

Todos os elementos removidos foram catalogados e arrumados de forma a serem repostos na máquina-ferramenta no final do trabalho de reparação.

Durante a limpeza da fresadora, iniciaram-se os trabalhos com a limpeza dos resíduos de maiores dimensões resultantes dos trabalhos de maquinagem. Para tal, recorreu-se a utensílios comuns como é o caso de aspirador e pinceis de limpeza.

Desta fase inicial, conclui-se que a remoção de avara na fresadora em estudo, não era de grande eficiência, uma vez que as quantidades acumuladas em zonas de difícil acesso eram consideráveis.

Posteriormente, procedeu-se à limpeza das zonas de funcionamento mecânico. Para tal, utilizou-se petróleo de limpeza comum (Figura 5.5).



Figura 5. 5 Petróleo de limpeza "Petrocleaner"

A utilização deste material prende-se com a necessidade de fornecer uma camada de gordura protetora aos componentes.

Posteriormente, utilizou-se o líquido de limpeza para contactos eléctricos (Figura 5.6)



Figura 5.6 Fluido de limpeza de contactos eléctricos "Contact Cleaner"

Com este material foram limpos os dispositivos eléctricos, removendo inclusive as fichas de alimentação e de receção de sinal dos servomotores que se encontram visíveis, assim como a limpeza integral dos contactos na caixa eléctrica e nos sensores indutivos.

Para além desta atividade conferiram-se os níveis de óleo de lubrificação do sistema de ar comprimido, encontrando-se este nos parâmetros desejados.

5.3 Componentes

A necessidade de manutenção de equipamentos produtivos é essencial na indústria, uma vez que a disponibilidade é uma condição fundamental ao bom funcionamento de uma organização.

Por outro lado, seguindo a principal função da Universidade, o ensino, é também importante que todos os dispositivos estejam operacionais.

Com o princípio de recuperar a máquina-ferramenta em estudo e como anteriormente descrito, fez-se um levantamento dos registos técnicos disponíveis no Departamento de Engenharia Mecânica, relativos à mesma.

Existem vários documentos, relativos à aquisição do equipamento, um inventário das ferramentas de corte e auxiliares, e alguma documentação técnica do comando SIEMENS e manuais de programação, incluindo:

- Princípios básicos de programação CNC;
- Rotinas e sub-rotinas;

- Códigos de aviso;
- Desenhos técnicos de ligação elétrica;

Para além dos manuais técnicos do comando, existem ainda dois documentos do construtor da máquina-ferramenta, SWISSPERFO (SP), que delineiam princípios básicos da manutenção e de iniciação de sistema.

Apesar destes documentos contemplarem alguma informação relevante, não continham qualquer descrição dos principais componentes, sua localização e montagem.

O autor deste documento define, componentes importantes, como sendo todos os elementos da máquina-ferramenta essencial ao seu funcionamento, que não fazem parte da estrutura principal da máquina-ferramenta, ou seja, corredeiras, órgãos de transmissão de movimento, acionamento dos eixos de maquinagem e dispositivos de medição e controlo.

5.3.1 Corredeiras

As corredeiras são um elemento fulcral, que em conjunto com os componentes de transmissão de movimento permitem posicionar a ferramenta de corte na posição correta de forma exata.

O sistema de corredeiras da fresadora SP, é composto por 3 pares de guias lineares repartidos por os três eixos de deslocamento principal.

Por observação da máquina-ferramenta em estudo, percebe-se a utilização de guias de elementos rolantes. Na Figura 5.7 encontra-se uma vista real de um dos sistemas de guias.



Figura 5.7 Sistema de corredeiras do eixo Y

A partir da pesquisa acerca do perfil e do funcionamento das corrediças, foi possível, encontrar a série e modelo destes componentes.

As corrediças selecionadas para esta máquina-ferramenta são produzidas pela “THK” (catálogo em anexo), e são parte integrante da serie “LM TYP SR” [49].

Este modelo de guia possui 4 pistas de esferas recirculantes, que lhe oferece exatidão no deslocamento graças ao ajustamento automático produzido pela sua montagem, eliminando erros de paralelismo.

Para além disto o fabricante assegura:

- Elevada rigidez;
- Alta durabilidade, promovido pelo sistema de lubrificação;
- Baixos índices de ruído;

Por medição efetuada ao tamanho da guia e do carrinho onde se inserem as esferas circulantes foi possível perceber que o modelo utilizado, TYP SR20 W, é destinado a cargas elevadas.

Na Figura 5.8 extraída do catálogo de seleção da THK, encontra-se uma representação técnica do equipamento.

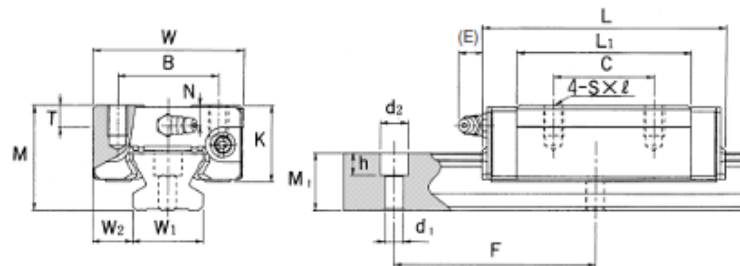


Figura 5.8 Corrediça Linear de esferas recirculantes "TYP SR20 W", THK

O comprimento das guias para este tipo de corrediça. Pode variar entre o comprimento mínimo de 220 mm a um comprimento máximo de 3000 mm.

5.3.2 Transmissão

Existem vários elementos de transmissão de movimentos na fresadora CNC em estudo.

Na árvore principal, o acionamento é realizado por intermédio de um sistema de correia trapezoidal.

Todos os eixos de deslocamento no equipamento em foco, contêm algum tipo de transmissão de movimento.

A Tabela 5.1 enumera esses sistemas.

Eixo	Transmissão de movimento	Conversão de movimento
X	Correia	Fuso de esferas recirculantes
Y	Correia	Fuso de esferas recirculantes
Z	Correia	Fuso de esferas recirculantes
B	Correia e Sem-fim	-

Tabela 5.1 Tipos de transmissão e conversão de movimento encontrados no equipamento em estudo

Como referido todos os eixos de deslocamento apresentam transmissão de movimento por correias trapezoidais. A sua utilização em detrimento do acionamento direto dos eixos prende-se na opinião do autor, com a necessidade de proteger os motores de acionamento dos mesmos, uma vez que desta forma, estes se encontram em zonas de difícil acesso.

Na Figura 5.9, encontra-se a localização destes sistemas de transmissão de movimento, podendo observar-se os andares de transmissão, e a posição onde se encontram os motores de acionamento.

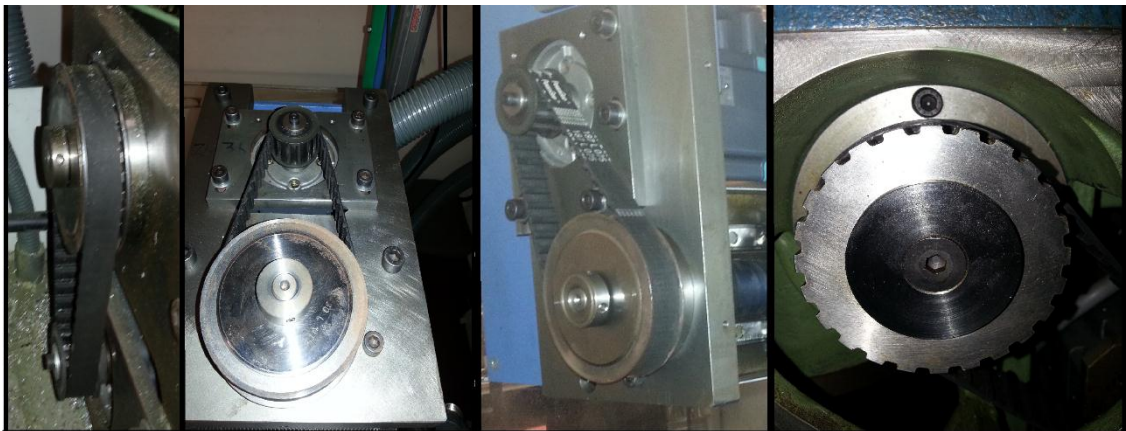


Figura 5.9 Localização dos dispositivos de transmissão de movimento

De salientar, os dois tipos de transmissão de movimento no eixo B, devido ao tipo de movimento que realiza, rotativo.

Devido à orientação da sua rotação, é necessário um parafuso sem-fim que permite converter o eixo de rotação deste componente. A figura 5.10, pretende representar de forma simples a direção de rotação proveniente do acionamento do motor (na Figura 5.10, a vermelho), e a direção do movimento de rotação real do eixo B (na Figura 5.10, a verde)

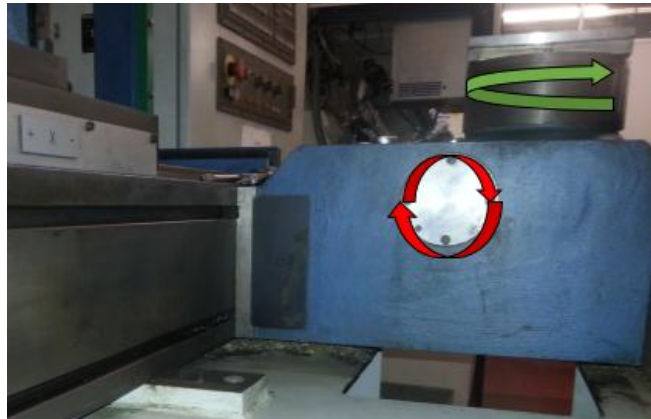


Figura 5. 10 Representação esquemática da direção de rotação do eixo B e do sistema de transmissão de movimento acoplado ao servomotor

Para além da transmissão de movimento, existe na fresadora CNC ainda elementos de conversão de movimento.

Estes, como anteriormente debatidos, transformam o movimento rotativo em deslocamento linear, e encontram-se nos 3 eixos de deslocamento principal, X, Y e Z (Figura 5.11).

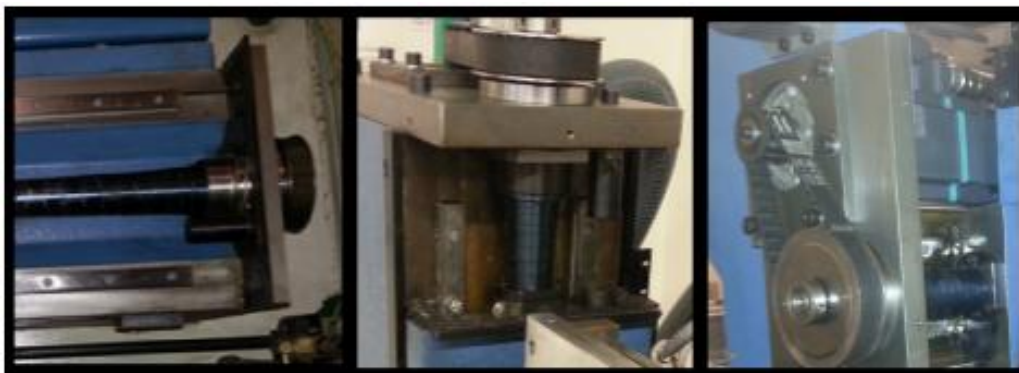
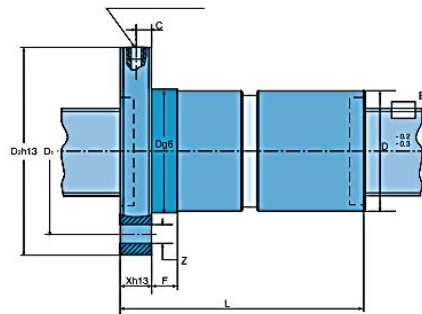


Figura 5.11 Localização dos dispositivos de conversão de movimento

Em máquinas-ferramentas de comando numérico, são geralmente utilizados fusos de esferas recirculantes, e através de alguma informação obtida no manual de manutenção do equipamento foi possível identificar a série e modelo dos fusos aplicados nesta fresadora.

Os fusos de esferas do equipamento em estudo foram produzidos pela “KORTA” (catalogo em anexo), e o modelo utilizado foi um tipo de fuso de dupla porca com flange e esferas retificadas, representado pelo código “DBS-2005-4” (Tabela 5.2). [50]



Referencia Type	Diámetro Diameter (D ₀)	Paso Lead (Ph)	Diám. bolas Ball diameter (D _w)	D _{pw}	d _z	Circuitos Circuits (i)	Capacidad de carga Load rating		Rigidez / Rigidity		Dimensiones de la tuerca / Nut dimensions										Referencia Type
							C ₀ (N)	C ₄ (N)	R ₀ (N/mm)	R ₄ (N/mm)	D	D ₁	D ₂	X	L	L ₈	L ₉	Z	C	F	
							unidades en mm / units: mm														
DBS-2005-2	20	5	3,5	21	17,5	2	15410	7309	56,6	160,0	36	47	58	10	66	44	51	6,6	5	10	DBS-2005-2
EDBS-2005						3	23116	10359	235,7	76					EDBS-2005						
DBS-2005-4						4	30821	13267	310,3	86					DBS-2005-4						

Tabela 5.2 Características dimensionais dos fusos de esferas, modelo “DBS-2005-4”, KORTA, utilizados no equipamento em estudo

Todos os fusos e esferas recirculantes no equipamento em estudo encontram-se protegidos por uma manga telescópica que impede a intrusão de resíduos no fuso.

5.3.3 Acionamento

Depois da procura por informação do fabricante da fresadora dos instrumentos de acionamento se mostrar inútil, iniciou-se a procura nos desenhos técnicos da instalação elétrica deixados pela SIEMENS. [51]

Um dos manuais contempla a correta ligação elétrica e informação do sistema de controlo aos motores.

Nestes documentos foi possível avaliar algumas características básicas necessárias para o acionamento desta máquina-ferramenta, como sendo:

- Todos os motores de acionamento de eixos, possuem um encoder ótico;

-Todos os motores de acionamento de eixos necessitam de uma frequência angular de rotação mínima de 3000 rotações por minuto (*rpm*);

-Todos os motores de acionamento de eixos necessitam de um binário mínimo de 1.2 *Nm*

-O motor responsável pelo acionamento do eixo Y (eixo de deslocamento vertical e que suporta o eixo Z) necessita de um travão;

-O motor da árvore principal necessita de uma frequência angular de rotação de 6000 *rpm*;

-O motor da árvore principal necessita de um binário mínimo de 2.2 *Nm*

Apesar da mais-valia desta informação, a localização física e características individuais de cada motor ainda era desconhecida.

Da observação e análise real da fresadora em estudo, verificou-se a existência de 5 motores, responsáveis pelo acionamento dos 4 eixos de movimento, X,Y, Z e B assim com um de acionamento da árvore principal.

Acionamento da árvore principal

O motor da árvore principal é perceptível a olho nu, uma vez que foi removida a blindagem do eixo Z.

Esta remoção foi efetuada antes do início deste trabalho, desconhecendo-se as razões para tal.

A figura 5.12 representa a vista real do eixo Z, em particular do seu motor de acionamento



Figura 5.12 Vista do eixo Z e do motor da árvore principal

Da observação detalha da chapa de identificação do motor de acionamento da árvore da fresadora em estudo (Figura 5.13), retirou-se o seu modelo, “1FT5062-0AK01-2”. [51]



Figura 5.13 Chapa de identificação do motor da árvore

Com a informação do fabricante e modelo do motor procedeu-se à procura da informação técnica relevante acerca deste tipo de motor.

Do catálogo (em anexo) da SIEMENS relativo à serie de servomotores 1FT5, obteve-se a seguinte matriz (Figura 5.14) de codificação dos motores por eles produzidos.

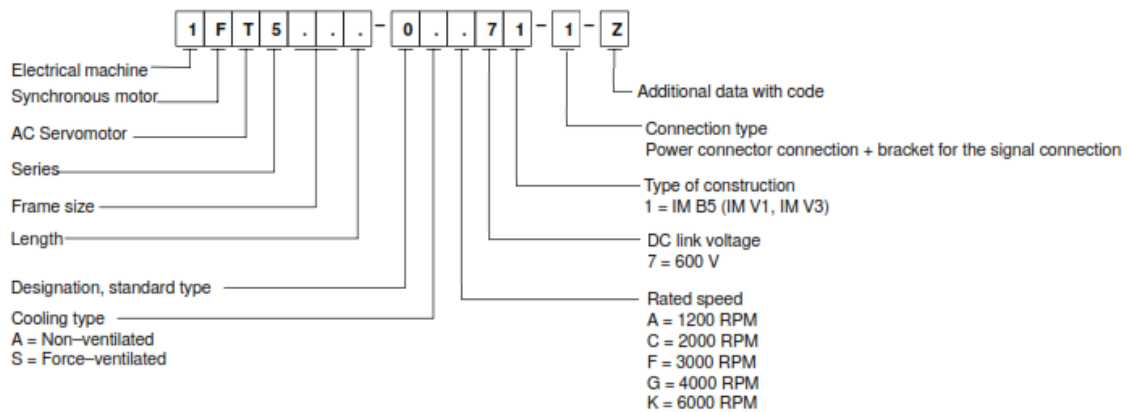


Figura 5.14 Matriz de codificação dos motores "1FT5" [51]

Com esta informação foi possível obter alguma informação acerca das características do motor de acionamento da árvore principal.

O motor utilizado, é um servomotor síncrono de corrente alternada, (ver capítulo 4.2.5).

Este servomotor em particular possui as seguintes especificações dispostas na Tabela 5.13.

Technical data	Code	Units	-□AK71
Engineering data			
Rated speed	n_N	RPM	6000
Rated torque (100 K)	M_N (100 K)	Nm	2.1
Rated current	I_N	A	4.1
Standstill torque (60 K)	M_0 (60 K)	Nm	2.2
Standstill torque (100 K)	M_0 (100 K)	Nm	2.6
Standstill current (60 K)	I_0 (60 K)	A	3.9
Standstill current (100 K)	I_0 (100 K)	A	4.6
Moment of inertia (with brake)	J_{mot}	10^{-4} kgm ²	5.76
Moment of inertia (without brake)	J_{mot}	10^{-4} kgm ²	4.7
Limiting data			
Maximum speed	n_{max}	RPM	8600
Maximum torque	M_{max}	Nm	10.4
Max. current	I_{max}	A	20.0
Limiting torque	M_{limit}	Nm	4.8
Physical constants			
Torque constant	k_T	Nm/A	0.56
Voltage constant	k_E	V/1000 RPM	62
Winding resistance	$R_{ph.}$	Ohm	1.7
Rotating field inductance	L_D	mH	9.3
Electrical time constant	T_{el}	ms	5.6
Mechanical time constant	T_{mech}	ms	6.3
Thermal time constant	T_{th}	min	25
Weight (with brake)	m	kg	7.5
Weight (without brake)	m	kg	6.5

Tabela 5.3 Informação técnica do servomotor da árvore principal

A figura 5.15 representa a curva de funcionamento nominal do servomotor de acionamento da árvore principal. Nestes motores, a curva correspondente é a “K”.

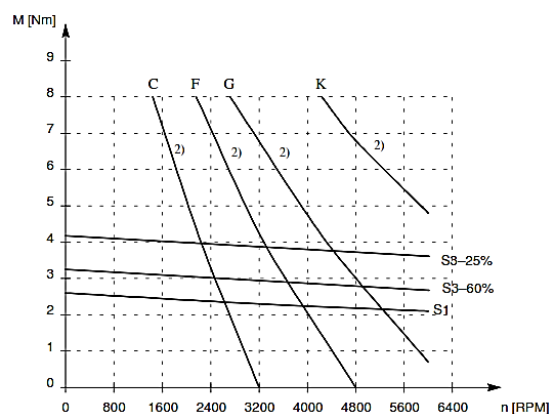


Figura 5.15 Curva de funcionamento nominal do servomotor da árvore principal [51]

Acionamento dos eixos

Como descrito anteriormente, existe um motor de acionamento por cada eixo.

Apesar de o motor do eixo Z, se encontrar exposto, por razões descritas anteriormente, o mesmo não se verifica para os restantes eixos.

Por questões práticas, não foi possível proceder à desmontagem dos restantes componentes a fim de se obter a identificação real dos motores. Por este motivo, e sustentado pelas características básicas enunciadas pela SIEMENS, o autor deste trabalho considera que os restantes motores dos eixos X, e B, são semelhantes ao motor do eixo Z.

Na Figura 5.16 encontra-se representada a chapa de identificação do eixo Z, sendo possível retirar o seu modelo, “1FT5044-0AF01 -1-Z”. [51]



Figura 5.16 Chapa de identificação do motor de acionamento do eixo Z

A partir da matriz de codificação, foi possível, retirar do catálogo técnico fornecido pela SIEMENS a informação característica para estes servomotores.

Technical data	Code	Units	-CAF71
Engineering data			
Rated speed	n_N	RPM	3000
Rated torque (100 K)	M_N (100 K)	Nm	1.9
Rated current	I_N	A	2.2
Standstill torque (60 K)	M_0 (60 K)	Nm	1.5
Standstill torque (100 K)	M_0 (100 K)	Nm	2.0
Standstill current (60 K)	I_0 (60 K)	A	1.6
Standstill current (100 K)	I_0 (100 K)	A	2.1
Moment of inertia (with brake)	J_{mot}	10^{-4} kgm ²	3.14
Moment of inertia (without brake)	J_{mot}	10^{-4} kgm ²	2.8
Limiting data			
Maximum speed	n_{max}	RPM	5500
Maximum torque	M_{max}	Nm	8.0
Max. current	I_{max}	A	8.5
Limiting torque	M_{limit}	Nm	5.0
Physical constants			
Torque constant	k_T	Nm/A	0.95
Voltage constant	k_E	V/1000 RPM	115
Winding resistance	R_{ph}	Ohm	9.0
Rotating field inductance	L_D	mH	24.2
Electrical time constant	T_{el}	ms	2.8
Mechanical time constant	T_{mech}	ms	5.4
Thermal time constant	T_{th}	min	45
Weight (with brake)	m	kg	4.5
Weight (without brake)	m	kg	4.2

Tabela 5.4 Informação técnica do servomotor do eixo Z [51]

A Figura 5.17 representa a curva de funcionamento nominal do servomotor de acionamento dos eixos. Nestes motores, a curva correspondente é a “F”.

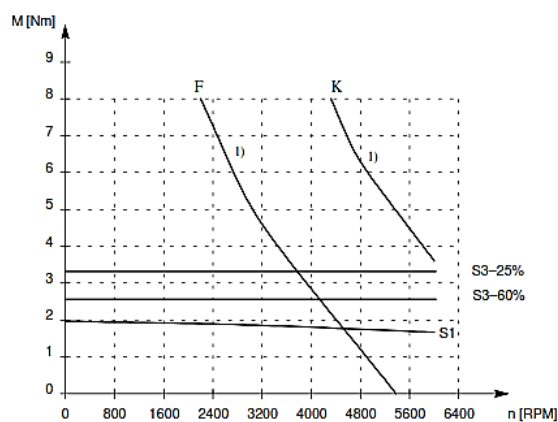


Figura 5.17 Curva de funcionamento nominal do servomotor de acionamento do eixo Z [51]

Finalmente, o motor do eixo Y, por necessitar de suportar o eixo Z, requer a utilização de um travão, que seja atuado quando a máquina se encontra desligada. Este tipo de travões, denominados por “Fail-safe”, têm por função travar o eixo Y mesmo quando este não se encontra alimentado.

Apesar, de como anteriormente referido, não foi possível proceder à observação física do motor do eixo Y, contudo o catálogo referente aos servomotores do modelo 1FT5 enumera apenas três opções para o acionamento com inclusão de um travão com função “Fail-safe”, Tabela 5.5.

Motor type	Brake type	Brake torque m at speed n		Max. speed [RPM]	Highest switching power [kJ/h]	Rated-power [W]	Inter-locking-time [ms]	Moment of inertia [10 ⁻⁴ kgm ²]	Highest switching work (nominal value) [MJ]
		[Nm]	[RPM]						
1FT507□	13A	32	250	4000	460	38	40	5	175
1FT510□	16A	60	250	3500	570	60	85	14	345
1FT513□	19A	130	125	3000	640	75	100	38	440

Tabela 5.5 Servomotores com opção de inclusão de travão em modo Fail-Safe [51]

Analisando o tamanho e a velocidade do servomotor usado no eixo Z, o autor deste trabalho considera que o servomotor mais provável de ter sido aplicado na fresadora CNC em estudo tem a codificação de “1FT507”.

Uma informação relevante durante esta pesquisa prende-se com o ciclo de vida do produto em questão. Segundo o fabricante este entrará na última fase do seu ciclo, sendo descontinuado em 2014, Figura 5.18

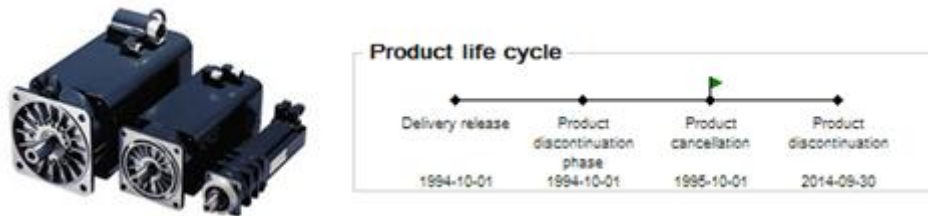


Figura 5.18 Ciclo de vida dos servomotores "1FT5"

Esta informação, permite antever futuras dificuldades numa eventual avaria num destes motores.

Acionamento de sistemas pneumáticos

Na fresadora CNC em estudo, encontram-se diversos tipos de sistemas de acionamento. Entre eles destacam-se os sistemas de servomotores síncronos de corrente alternada, descritos anteriormente.

No entanto, este equipamento recorre também a tecnologia de acionamento pneumático para cumprir diversas funções de grande importância, como seja a libertação da palete da peça ou da ferramenta de corte e outras de carácter secundário, como seja o acionamento do resguardo, movimentação do sistema de troca de ferramenta ou lubrificação da superfície de corte.

Na Figura 5.19 observa-se um dos dispositivos pneumáticos associado à árvore principal, e que tem por função libertar a ferramenta de corte.

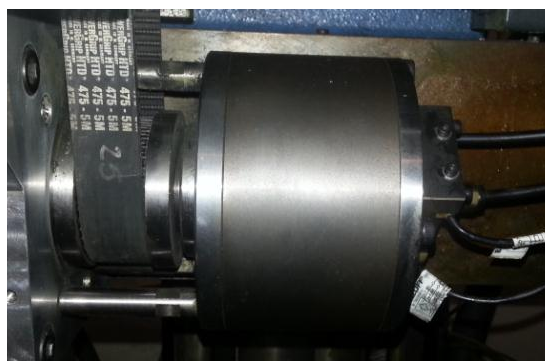


Figura 5.19 Equipamento pneumático de libertação da ferramenta de corte

Na Figura 5.24, é perceptível um dispositivo semelhante que realiza a libertação do eixo B e da paleta que transporta a peça.

A partir dos documentos técnicos referentes as ligações elétricas da SIEMENS, foi possível identificar estes componentes como sendo cilindros pneumáticos de simples efeito com retorno por mola.

Contudo não foi possível determinar mais nenhuma característica.

Por outro lado, o acionamento do resguardo é efetuado por um cilindro pneumático de duplo efeito assim como o acionamento do sistema de troca de ferramenta automática,

O primeiro é realizado por um cilindro produzido pela “Origa” (Figura 5.20), modelo “P 210-25” [52]

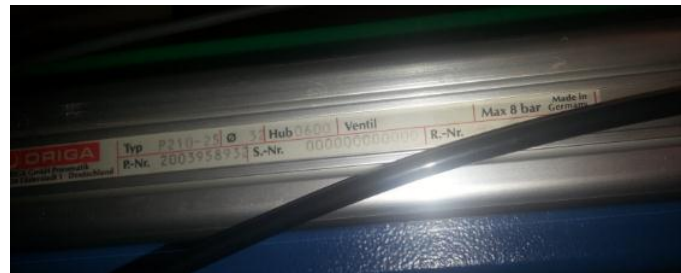
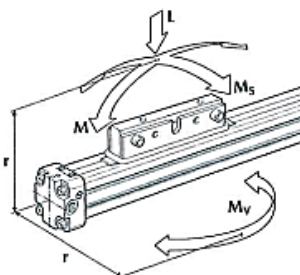


Figura 5.20 Cilindro pneumático de duplo efeito “P 210-25”

Do catálogo do fornecedor (em anexo) foi possível recolher alguma informação técnica na Tabela 5.6, o diâmetro do cilindro utilizado é de 25 mm.



Cyl. ø	Force at 6 bar [N]	Cushion Length [mm]	Max. Allowed Bending Moment [Nm]		Max. Allowed Torque [Nm] M_v	Max. Allowed Load [N] L
			M	M_s		
10	32	2,5	1	0,2	0,3	20
16	78	15	4	0,3	0,5	120
25	250	21	15	1,0	3	300
32	420	26	30	2,0	5	450

Tabela 5.6 Informação técnica do cilindro pneumático “P 210-25” [52]

Por outro lado, o acionamento do sistema de troca de ferramenta automático, é assegurado o por um cilindro pneumático de duplo efeito, produzido pela “Festo” [53] (como anteriormente descrito no capítulo 5.2).

Este, representado na Figura 5.21, faz parte do modelo DN-32-300-PPV-4977



Figura 5.21 Cilindro pneumático de duplo efeito “DN-32-300-PPV-4977” Festo

Este modelo apresenta as seguintes características resumidas na Tabela 5.7.

Cylinder Type	Standard Stroke mm	Stroke min.-max. mm	Force at 90 psi / 6 bar lbf / N	Return Force at 90 psi / 6 bar lbf / N	Connection	Cushioning Length in / mm
DN-32-...	25, 50	1	101 / 450	86 / 380	G 1/8 ISO	0.75 / 19

Tabela 5.7 Informação técnica do cilindro pneumático “DN-32-300-PPV-4977” Festo

5.3.4 Instrumentos de medição

O rigor e exatidão de uma máquina-ferramenta de comando numérico, está intimamente relacionada com a qualidade da sua construção, dos componentes utilizados, e da informação das variáveis de entrada num ciclo de controlo por malha fechada.

A utilização de instrumentos de medição torna-se assim essencial. Foram utilizados quatro tipos de instrumentos de controlo na fresadora CNC em estudo:

- Taquímetros;
- Encoders óticos;
- Sensores de fim de curso;

Taquímetros

Como anteriormente referido (capítulo 4.2.6), no controlo da velocidade, é comum a utilização de taquímetros.

Da observação atenta da máquina em estudo foi possível obter a informação relativa aos motores de acionamento e a partir do seu catálogo, pode-se concluir que todos os motores usados na fresadora obtêm o seu controlo de velocidade a partir de taquímetros incorporados nos próprios motores.

O modelo do taquímetro é visível na Figura 5.13 como sendo o “1FU1050” para o motor da árvore principal e o “1FU1030” (Figura 5.16) para os restantes eixos (considerando que estes são iguais ao eixo Z)

Estes taquímetros são acoplados diretamente ao eixo do motor e medem a velocidade de saída do servo motor.

Caraterizados pela ausência de escovas, estes dispositivos garantem por isso uma vida útil longa e com baixa necessidade de manutenção.

O sinal de saída é analógico, com a forma de um sinal trapezoidal e fornece 18 sinais por rotação. Na Tabela 5.8 encontra-se alguma informação técnica característica destes dois modelos de taquímetros.

Technical data	1FU1030	1FU1050
	Hall switch system	Magnetic elements
Speed (mech. limiting speed)	8000 RPM	8000 RPM
Peak value, phase voltage at the rated speed	16/40 V	40 V
Voltage tolerance	+15 %, -5 %	± 8 %
Voltage calibration	± 20 %	± 20 %
Peak ripple	≤ 1 %	≤ 0.5 %
Linearity error	≤ 0.2 %	≤ 0.2 %
Reversing error	≤ 0.2 %	≤ 0.2 %

Tabela 5.8 Informação técnica dos taquímetros utilizados nos servomotores da máquina-ferramenta em estudo [51]

Encoders óticos

Os encoders óticos são responsáveis pelo controlo real de posição, e após a observação da máquina-ferramenta, em especial do eixo Z, é possível verificar a existência de um destes elementos acoplado a um dos extremos do servomotor do eixo Z (Figura 5.22)



Figura 5.22 Encoder Incremental do eixo Z

A partir da informação dos esquemas de ligação elétrica, é conhecida a existência de encoders nos restantes eixos X,Y e B. Por analogia, o autor desta dissertação considera que estes serão iguais ao do eixo Z.

Este tipo de encoder, modelo “ROD 426”, produzido pela SIEMENS, é um encoder ótico incremental. [51]

A Tabela 5.9 contém informações referentes das características destes encoders óticos.

Speed	max. 12 000 RPM
Operating voltage	5 V DC $\pm 5\%$
Current drain	≤ 150 mA (without load)
Frequency range	0 kHz to 300 kHz
Signal edge	RS 422 (TTL)
Minimum edge clearance	$\geq 0.45 \mu\text{s}$ at 300 kHz
V_{A1} to V_{A2}	
Electrical resolution	500 to 5000 pulses/revolution (corresponds to the resolution of the pulse disk); for external multiplication, up to 20 000 pulses/revolution
Degree of protection (acc. to DIN 40050)	<ul style="list-style-type: none"> without shaft input: IP 67 with shaft input: IP 64
Operating temperature	$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$
Storage temperature	$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$
Vibration stressing (acc. to DIN IEC 68–2–6)	100 m/s^2 (50...2000 Hz)
Shock stressing (acc. to DIN IEC 68–2–29)	1000 m/s^2 (11 ms)
Moment of inertia of the mounting encoder incl. the coupling and motor shaft	$0.0175 \cdot 10^{-4}\text{ kgm}^2$
Moment of inertia of the encoder	$1.45 \cdot 10^{-6}\text{ kgm}^2$
Weight	0.25 kg

Tabela 5.9 Informação técnica do encoder ótico incremental “ROD 426”

Estes encoders são construídos com três pistas de leitura, permitindo a análise cuidada do deslocamento angular registado, e uma terceira que serve de referência.

A Figura 5.23 representa o esquema de ligação de um encoder e o tipo de sinal que fornece.

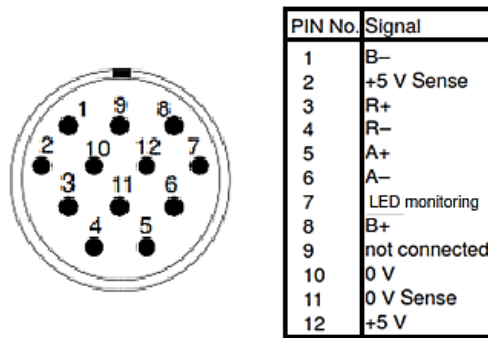


Figura 5.23 Sinais fornecidos pelo do encoder “ROD 426”

Apesar de se desconhecer o tipo de acoplamento registado no eixo X e Y, no eixo B, o encoder ótico, não está conectado diretamente ao servomotor.

Este encontra-se ligado ao parafuso sem fim por meio de uma correia, medindo dessa forma o deslocamento real da mesa de suporte da peça.

Na figura 5.24 é possível ver a correia em causa, no entanto não se encontrando visível o encoder



Figura 5.24 Pormenor do interior do eixo B., o encoder ótico é acionado pela correia em destaque

Sensores de fim de curso

Existem diversos sensores de fim de curso na fresadora em estudo, uma vez que estes são necessários para informar o sistema de controlo, de uma eventual falha no posicionamento dos eixos.

Estes sensores encontram-se referenciados nos documentos técnicos do comando SIEMENS no qual, se pode perceber a existência de quatro sensores de fim de curso, repartidos pelos quatro eixos de deslocamento da máquina (Figura 5.25). Estes sensores são designados por “reference point”, que traduzido significa pontos de referência.

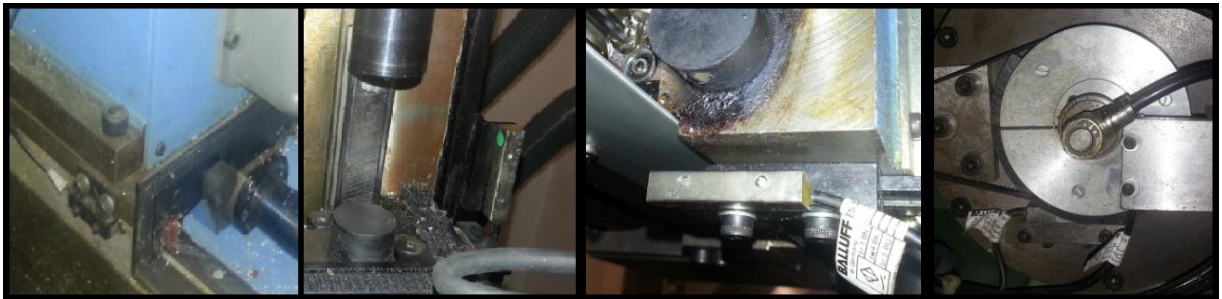


Figura 5.25 Localização dos sensores de fim de curso

Estes sensores podem ser identificados pela etiqueta branca, permitindo dessa forma retirar o seu modelo, “BES-516-300-S-166-PU-5”, e o seu fabricante, “Balluff” [54]

Estes sensores são do tipo indutivo, geram um sinal em corrente contínua, e o seu estado é normalmente aberto.

O fabricante disponibiliza um catálogo (em anexo) com informação técnica, compilada na Tabela 5.10.

Characteristic data		Electrical data		Mechanical data	
Assured operating distance Sa	1,2	Operating voltage	10...30 V DC	Connection type	Cable
Eff. switching distance Sr	1,5 mm	Ripple max. (% of Ue)	15	Cable diameter D max.	3 mm
Tolerance Sr	±10 %	Rated operating voltage Ue DC	24 V	Cable short designation	Li9Y11Y
Hysteresis H max. (in % of Sr)	15 %	Voltage drop static max.	2,5 V	Cable length	5 m
Repeat accur. R max. (% of Sr)	5 %	Rated insulation voltage Ui	75 DC	Number of conductors	3
Ambient temperature	-25...70 °C	Effective operating current Ie	200 mA	Conductor cross-section	0.14 mm ²
Temp. drift max. (% of Sr)	10%	No-load current I ₀ damped max.	12 mA	Housing material	GD-ZnAl
Switching freq. f max.	5000 Hz	Max. no-load cur. I ₀ undamped	4 mA	Sensing surface material	PBT
Ready delay t _v max.	10 ms	Off-state current I _r max.	80 µA	Cable jacket material	PUR
Utilisation category	DC 13	Minimum operating current I _m	0 mA	Shock rating	Shock, half-sinus, 30 gn, 11ms
Function indicator	Yes	Rated short circuit current	100 A	Vibration rating	55 Hz, 1 mm ampl., 3x30 min
Power indicator	No	Output resistance Ra	33.0k + D	Degree of contamination	3
Short-circuit protected	Yes	Load capacitance max. (at Ue)	0,5 µF		
Protected against polarity reversal	Yes				
Protected against miswiring	Yes				
Enclosure Type per IEC 60529	IP67				
Principle of operation	Inductive				

Tabela 5.10 Informação técnica do sensor indutivo “BES-516-300-S-166-PU-5”

Estes sensores são utilizados no controlo de posição da máquina-ferramenta, mas também na verificação da presença de ferramenta de corte na árvore principal, verificação do aperto da paleta (Figura 5.25), e no controlo de posição do sistema de troca automática de ferramenta, ambos visíveis na Figura 5.26.



Figura 5.26 Localização dos sensores de fim de curso na verificação da ferramenta de corte, e de posicionamento para o sistema de troca de paleta

No primeiro e segundo casos, um sinal é devolvido ao sistema de controlo, sempre que existe uma ferramenta de corte na árvore principal ou a paleta porta peças se encontra presa na mesa rotativa (Eixo B).

Por último, os sensores garantem a extensão ou recuo completo do cilindro de duplo efeito.

O mesmo princípio é aplicado no sistema pneumático de acionamento do resguardo da máquina-ferramenta em estudo.

Estes sensores de fim de curso, de modelo, “BES-516-324-E4-C-PU-5”, igualmente produzidos pela “Balluff” podem ser observados na Figura 5.27.



Figura 5.27 Localização dos sensores de fim de curso, “BES-516-324-E4-C-PU-5” no resguardo

Do catálogo foi possível compilar a seguinte Tabela 5.11, com informação característica destes sensores indutivos.

Characteristic data		Electrical data		Mechanical data	
Assured operating distance Sa	0,65	Operating voltage	10...30 V DC	Connection type	Cable
Eff. switching distance Sr	0,8 mm	Ripple max. (% of Ue)	10	Cable diameter D max.	3 mm
Tolerance Sr	-10 % / +40 %	Rated operating voltage Ue DC	24 V	Cable short designation	LI FY11Y-O
Hysteresis H max. (in % of Sr)	15 %	Voltage drop static max.	3 V	Cable length	5 m
Repeat accur. R max. (% of Sr)	5 %	Rated insulation voltage Ui	75 DC	Number of conductors	3
Ambient temperature	-25...70 °C	Effective operating current Ie	100 mA	Conductor cross-section	0.14 mm ²
Temp. drift max. (% of Sr)	10%	No-load current I _o damped max.	10 mA	Housing material	Stainless steel
Switching freq. f max.	3000 Hz	Max. no-load cur. I _o undamped	3 mA	Sensing surface material	PBT
Ready delay t _v max.	25 ms	Off-state current I _r max.	80 µA	Cable jacket material	PUR
Utilisation category	DC 13	Minimum operating current I _m	1 mA	Shock rating	Shock, half-sinus, 30 gn, 11ms
Function indicator	Yes	Rated short circuit current	100 A	Vibration rating	55 Hz, 1 mm ampli., 3x30 min
Power indicator	No	Output resistance Ra	Open collector	Degree of contamination	3
Short-circuit protected	Yes	Load capacitance max. (at Ue)	0,2 µF	Tightening torque	1 Nm
Protected against polarity reversal	Yes				
Protected against miswiring	Yes				
Enclosure Type per IEC 60529	IP67				
Principle of operation	Inductive				

Tabela 5.11 Informação técnica do sensor indutivo “BES-516-324-E4-C-PU-5”

6 Desenvolvimento do trabalho

Após a finalização das operações de limpeza integral da máquina, e elaborado o levantamento dos principais componentes funcionais da máquina-ferramenta em estudo, procedeu-se ao estudo de localização da avaria e tentativa da sua resolução.

Segundo Saravanan [55] uma vez que uma máquina CNC é um sistema muito complexo, a procura de causa da falha pode consumir até 80% do tempo total de não disponibilidade da mesma.

No seu estudo este autor dividiu uma fresadora em seis subsistemas principais, e da análise dos casos de avaria, produziu o gráfico, representado na Figura 6.1

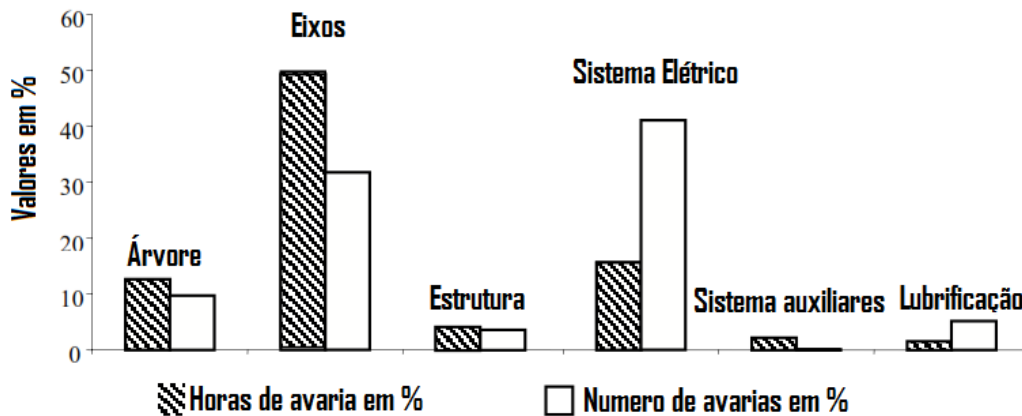


Figura 6.1 Percentagem de avarias de seis subsistemas de uma fresadora

Da interpretação deste gráfico, depreende-se que os principais sistemas no qual se registam as falhas mais frequentes, nos eixos de deslocação e no sistema elétrico.

Esta informação é importante uma vez que pode circunscrever a procura de uma causa de falha a subsistemas críticos que devido à sua elevada complexidade ou solicitação, apresentam tendência para entrarem em falência.

Para além disto, o comando CNC SINUMERIK, à semelhança da maioria das máquinas-ferramentas produzidas a partir da década de 1980, possui rotinas de autodiagnostico.

Esta potencialidade torna-se indispensável na diminuição dos tempos de não produção, uma vez que indica possíveis problemas associados ao correto funcionamento do dispositivo. [28]

Da análise do autodiagnóstico da máquina em estudo obtiveram-se sucessivos códigos de erro (Figura 6.2)

Na sua maioria os códigos são numéricos, constando no manual da SIEMENS, relativo ao comando, o seu significado.

Contudo, os códigos iniciados pelo número 7 são códigos reservados para os produtores da máquina-ferramenta. Por esse motivo, a interpretação destes, tornou-se difícil, uma vez não existir informação do fabricante da fresadora, e o escasso texto associado ao código.

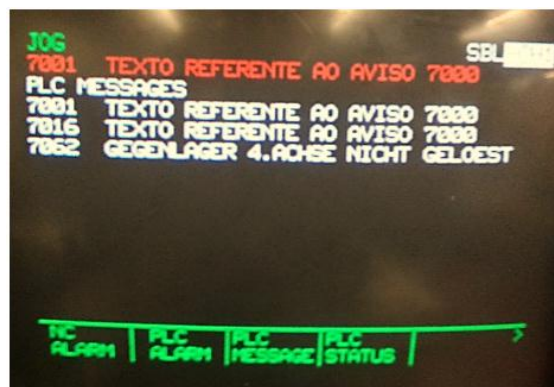


Figura 6.2 Mensagens de erro apresentadas pelo equipamento em estudo

Na figura anterior identificam-se três avisos, todos com código da serie 7. Os dois primeiros, erro 7001 e 7016 não foram possíveis de identificar.

No entanto o erro 7062, por possuir algum texto associado, permitiu perceber, depois de tradução, que o problema identificado mencionava um componente do eixo B.

Apesar da localização geral do problema, não foi possível determinar qual dos componentes do eixo B se encontrava em avaria, ou se esta seria de natureza mecânica ou elétrica.

O problema principal associado a esta máquina-ferramenta prende-se com a falta de informação, na forma de manuais.

Não existe no laboratório qualquer tipo de manual de utilização da máquina-ferramenta. Esta lacuna provoca um desconhecimento total acerca dos componentes presentes na máquina, assim como a sua localização e número, sendo esta informação essencial para uma eventual reparação e correta manutenção.

A manutenção é regida por um curto documento que contém informações gerais acerca da máquina e dos cuidados a ter principalmente com componentes em que a sua substituição é fundamental, como é o caso das correias de transmissão, e lubrificação de componentes importantes.

No entanto, este manual não possui qualquer lista de peças, nem uma lista dos erros programados pelo fabricante, tornando o autodiagnóstico da fresadora CNC inútil.

Com o intuito de localizar a causa da avaria, procedeu-se então de forma sequencial ao teste dos componentes elétricos, que Savaraman [55] considera mais propícios a avaria, motores de acionamento e restante sistema elétrico.

6.1 Identificação de sensores

Iniciou-se então a avaliação do funcionamento do sistema de controlo de posição.

Para tal, removeu-se a porta de acesso ao quadro elétrico da máquina, representado na figura 6.3. Neste é possível identificar um conjunto de LED's numerados.

Estes fornecem informação do estado de atuação ou não dos diferentes sensores e componentes existentes na máquina-ferramenta em estudo.



Figura 6.3 Quadro elétrico da máquina-ferramenta em análise

Os LED's em questão contêm uma numeração iniciada em 800 e que termina em 830.

Desconhecendo-se a correspondência entre os sensores e o LED correspondente, iniciou-se o estudo da identificação, com o objetivo de perceber se todos os sensores indutivos se encontravam a funcionar.

Para tal, testaram-se os sensores indutivos e registaram-se a mudança de estado (atuação dos LED's). O teste consistiu, simplesmente, na aproximação de um material metálico nas imediações dos sensores indutivo.

Apesar da simplicidade da tarefa no teste dos sensores de fim de curso dos eixos de deslocamento X, Y e Z, nos sensores do sistema de acionamento pneumático do resguardo e da troca automática de ferramenta, o mesmo não se verificou em outros sistemas. Em particular nos sensores de referência para o eixo B, e no sensor de presença de palete na mesa, também localizado no interior do eixo B, e nos sensores de presença de ferramenta na árvore principal.

Estes últimos necessitaram de serem removidos para se realizar o teste ao seu funcionamento.

Por outro lado, os sensores presentes no interior do eixo B, não foram testados desta forma, uma vez que a sua remoção se verificou impossível.

Isto acontece, porque não existe uma forma prática de aceder ao interior do eixo B, sendo necessário desmontar muitos componentes, o que implicaria a perda de exatidão da máquina, ou a calibração da posição do eixo B uma vez que os trabalhos de manutenção e reparação se encontrassem completos.

No entanto, foi possível completar a informação que faltava relativamente a identificação dos sensores, graças a um desenho técnico da SIEMENS.

Na Tabela 6.1, encontram-se a correspondência dos sensores ao sistema de controlo da máquina-ferramenta CNC.

No mesmo documento, foi possível registar que os códigos compreendidos entre 811 e 830 estão reservados aos robôs de troca rápida de paletes e ferramenta.

Este exercício permitiu, verificar o correto funcionamento da maioria dos sensores, à exceção dos sensores incluídos no eixo B.

Código/Sinal	Sensor
800	Fornecimento de energia à máquina-ferramenta
801	Resguardo aberto
802	Resguardo fechado
803	Ferramenta de corte fixada
804	Árvore principal sem ferramenta de corte
805	Palete porta peça fixada à mesa
806	Sensor de pressão do sistema pneumático (min. 5 bar)
807	Ponto de referência do eixo X
808	Ponto de referência do eixo Y
809	Ponto de referência do eixo Z
810	Ponto de referência do eixo B

Tabela 6.1 Codificação dos sensores no sistema de controlo

Estes foram testados, fazendo uso das funções auxiliares da máquina-ferramenta. Para tal fixou-se uma palete à mesa, e verificou-se a atuação do LED, 805.

Por outro lado, o sensor 810 foi testado numa etapa mais avançada do estudo e foi associado ao estudo de funcionamento dos encoders óticos.

6.2 Teste aos encoders óticos

Como descrito anteriormente, a fresadora CNC em análise, contém 4 encoders óticos incrementais, e numa tentativa de descartar uma possível avaria no sistema de controlo de posição, essencial para o funcionamento da máquina, procedeu-se ao teste do seu funcionamento.

Para tal, usou-se um método que consistiu na atuação manual dos eixos de acionamento, através das correias trapezoidais. No entanto para se verificar a correta leitura dos encoders seria necessário registar essa mesma deslocação no display da máquina-ferramenta.

Iniciou-se este processo colocando a máquina-ferramenta em modo manual. Este modo permite a visualização no display do equipamento da posição atual registada nos quatro eixos (Figura 6.4)



Figura 6.4 Display da máquina-ferramenta em estudo, com informação da posição de cada eixo

Posteriormente procedeu-se ao acionamento manual das correias dos eixos. Esta ação produz o deslocamento do eixo do servomotor associado a correia em questão, e por consequência a deslocamento do disco do encoder ótico.

Com a movimentação dos eixos X e Z, foi possível registar a movimentação dos valores da posição atual no display referente a estes eixos. A flutuação desses valores era proporcional a velocidade de deslocamento, e também ao sentido.

Para a movimentação do eixo Y, foi necessário a aplicação de alguma força, uma vez que o travão integrado neste motor, estava atuado. Neste eixo apenas foi registado uma flutuação mínima nos valores, contudo, o facto de os registar e de produzir o retorno a posição onde se encontrava, indica que tanto o encoder como o servomotor de acionamento do eixo Y, assim como o seu sistema de Fail-Safe, funcionam.

Por último, testou-se o eixo B, uma vez mais a dificuldade da intervir neste eixo foi agravada pela fraca acessibilidade ao próprio.

Para se exercer este teste, removeu-se uma tampa (figura 5.9), e procedeu-se ao acionamento manual do parafuso sem-fim. Apesar das dificuldades experienciadas, registou-se a flutuação dos valores referentes à posição do eixo B no display.

Para além do teste ao encoder foi possível realizar o teste do ponto de referência ao registar-se a sua atuação quando se realizou uma revolução completa.

Com estes testes eliminou-se a possibilidade de falha nos sistemas de posicionamento da máquina.

No entanto existe a possibilidade de avaria se registar num dos motores de acionamento do eixo X, Z, B ou árvore principal, uma vez que em nenhuma situação foi possível acioná-los usando ordens de avanço.

6.3 Atualização do sistema de electroválvulas pneumáticas

Durante os procedimentos de teste ao sistema de controlo posicional descrito anteriormente, registou-se o aparecimento de outro problema, desta feita relacionado com o sistema pneumático.

Este é condição necessária para o funcionamento da máquina-ferramenta, uma vez que, a sua falta implicará a paragem total de todas as operações do equipamento. Esta medida prende-se com a necessidade de garantir o funcionamento do sistema de fixação da ferramenta de corte, não menos importante a lubrificação e remoção de avara.

Após verificar a válvula de controlo (Figura 6.5), fixada na pressão mínima de 5 bar, e verificar o fornecimento de ar comprimido da rede, apercebeu-se que esta rondava o valor de 5.5 bar, e não os 6 requeridos pelo sistema de ar comprimido.



Figura 6.5 Sensores de pressão do sistema de ar comprimido do equipamento

Para além desta discrepância nos valores obtidos, o barulho efetuado pelo funcionamento do sistema pneumático, era considerável.

Após uma observação ao estado das electroválvulas encerradas junto ao quadro elétrico no interior da máquina-ferramenta, verificou-se a existência de manchas do óleo lubrificante do ar na chapa de fixação destas válvulas.

Para além dos resíduos localizados, registou-se duas fugas de ar em duas electroválvulas em funcionamento.

As fugas provenientes de fissuras (Figura 6.6) na estrutura das electroválvulas eram consideráveis e resultado do desgaste durante o funcionamento das mesmas. Sendo que foram registadas em válvulas que eram requeridas frequentemente, entre elas a que permite a atuação do cilindro pneumático do resguardo.



Figura 6.6 Pormenor da fissura registada em várias electroválvulas

As electroválvulas em questão são produzidas pela “Telemecanique” (atualmente “Schneider Electric”), modelo “PVL – B121618” as de simples efeito com retorno de mola e “PVL – B122618” de duplo efeito. [56]

Este tipo de electroválvulas, denominadas por válvulas “Manifolds”, traduzido por válvulas em bloco, permite a economia de espaço e a simplicidade de alimentação e escape, uma vez que a sua característica alimentação lateral comum permite a sequenciação de várias válvulas, e a redução de números de cabos de alimentação e escape. [46]

Na Figura 6.7, pode-se observar o conjunto das quatro electroválvulas de simples efeito (sinalizadas a vermelho) e as duas válvulas de duplo efeito (sinalizadas

a azul) presentes na máquina em estudo e que permitem a atuação dos sistemas pneumáticos.

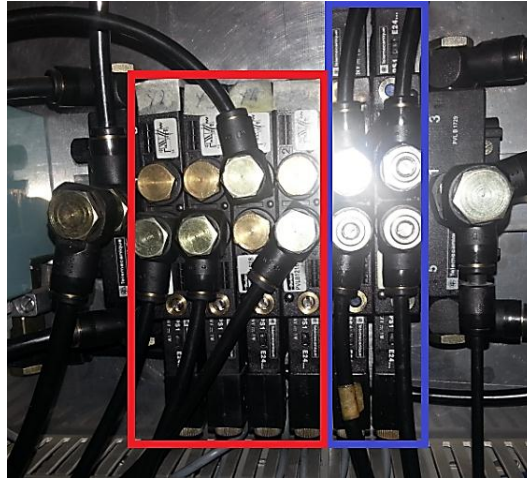


Figura 6.7 Bloco de Electroválvulas do objeto de estudo

Da análise das condições de degradação das válvulas, tomou-se a decisão de substituir estes componentes, uma vez que o seu mau funcionamento poderia estar a provocar a avaria na máquina-ferramenta.

Estudo de atualização do sistema de electroválvulas

A necessidade de substituição das electroválvulas do sistema pneumático permitiu um exercício de retrofiting, uma vez que se idealizou a substituição deste sistema de electroválvulas.

Na tabela 6.2, apresenta-se o custo de substituição destas electroválvulas por outras iguais.

Numero	Artigo	Preço
4	Electroválvula PVL – B121618	270.40 €
2	Electroválvula PVL – B122618	150.88 €
-	IVA (23 %)	96.89 €
-	Total	518.17 €

Tabela 6.2 Tabela de custo das electroválvulas pneumáticas “PVLB121618” e “PVLB122618”

A principal desvantagem destas válvulas prende-se com o seu elevado custo, e com a morosidade na entrega das mesmas, uma vez que precisam de ser encomendadas ao fabricante, tendo um tempo de entrega nunca inferior a 3 semanas.

Contudo, outro aspeto envolve a construção deste modelo de válvulas. Produzidas num material polimérico, o seu ciclo de vida é curto, e para além disso a sua reparação em casa de avaria é impossível, já que a abertura de uma destas válvulas não é possível sem a destruição da mesma.

Estabeleceu-se assim uma lista de características requeridas para um sistema de válvulas:

- Baixo custo;
- Disponibilidade imediata;
- De construção metálica;
- Pilotagem elétrica de 5 v;

No entanto o novo sistema deveria realizar na íntegra todos os propósitos do sistema em uso sem alterar as condições do sistema de ar comprimido. Procedeu-se então a uma pesquisa, para procura de uma opção viável.

O sistema escolhido pelo autor passou pela substituição das electroválvulas do tipo “Manifold”, por electroválvulas comuns, de construção metálica, adaptando um sistema de alimentação comum.

Na prática o novo sistema é composto por um bloco “Manifold”, no entanto, ocupa mais espaço, e não possui um escape partilhado.

Na Tabela 6.3, encontra-se de forma detalha os preços envolvidos na aquisição deste sistema de electroválvulas.

A solução projetada implica uma poupança imediata no valor de 74.43 €, e uma eventual poupança na ordem dos 182.04 € numa próxima aquisição das mesmas válvulas, considerando taxas constantes, uma vez que não será necessário comprar os acessórios.

Numero	Artigo	Preço
4	Electroválvula Camozzi 358.015 (simple efeito com retorno de mola)	142.80 €
2	Electroválvula Camozzi 358.011 (duplo efeito)	96.44 €
8	Bobine Camozzi A73 24V DC	62 €
8	Ficha Camozzi 122-800	11.52 €
1	Pórtico Alimentação	8.22 €
1	Dispositivo de fixação	15.18 €
6	Parafuso estanque	4.44 €
12	Escapes Camozzi 2931 1/8	20.16 €
-	IVA (23%)	82.98
-	Total	443.74 €

Tabela 6.3 Tabela de custo das electroválvulas pneumáticas Camozzi e artigos necessários a sua instalação

Na Figura 6.8, pode-se observar o novo conjunto de electroválvulas, dispostas de acordo com as exigências da fresadora CNC.



Figura 6.8 Conjunto de electroválvulas Camozzi configuradas para o equipamento em estudo

De salientar o pórtico de alimentação comum que permitirá a utilização de apenas um cabo de fornecimento de ar comprimido ao conjunto de válvulas. Os escapes ficam fechados, à exceção de dois que são conectados ao sistema integrado de escape na máquina-ferramenta (Figura 6.9)



Figura 6.9 Bacia de escape do sistema de ar comprimido

Para além da aquisição dos componentes descritos na tabela, foi necessário desenvolver uma solução para a sua fixação (Figura 6.10), uma vez que não foi possível a aplicação do dispositivo de fixação incluído na compra das válvulas, devido à impossibilidade de fechar a porta da caixa elétrica da máquina-ferramenta em estudo.

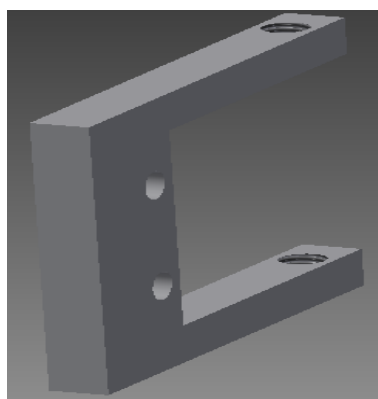


Figura 6.10 Representação em CAD do sistema de fixação idealizado

O dispositivo idealizado funciona por conjugação de outro exatamente igual, e faz uso dos furos de fixação lateral encontrados nas electroválvulas adquiridas, para as suportar utilizando dois veios.

Uma vez suportadas as válvulas, são usados quatro parafusos para fazer a fixação à guia existente no local onde é colocado o dispositivo pneumático.

O desenho técnico deste componente encontra-se em anexo.

7 Discussão de resultados

O estudo alargado da máquina-ferramenta permitiu a criação de um manual técnico e de manutenção da fresadora, que inclui uma lista de peças em registo fotográfico (Anexo A)

Do estudo efetuado foi ainda possível a familiarização de sistemas de programação de máquinas de comando numérico, sem no entanto se ter produzido qualquer tentativa de geração de código.

Para além disso, a procura do motivo de avaria da máquina em estudo mostrou-se infrutífera uma vez que para além do problema existente, somou-se a problemática do sistema pneumático.

O estudo de retrofitting do sistema de ar comprimido permitiu no entanto a modernização de um dos subsistemas da fresadora.

Para além da vantagem económica na seleção do novo sistema de electroválvulas apresentam-se outros, como a sua construção metálica, que permite uma maior capacidade de manutenção, a disponibilidade, própria de componentes de carácter universal.

Por outro lado, em caso de avaria, é importante considerar o valor educativo que podem proporcionar, uma vez que o seu estudo, abertura e eventual reparação pode ser realizada sem prejuízo para o seu funcionamento.

O teste deste novo sistema de ar comprimido, não foi possível fazer uma vez que por falha na manutenção de registos atualizados permitiu-se que a pilha encarregue de manter a memória do PLC da SIEMENS se esgotasse, resultando na formatação do comando instalado.

Esta situação constrangedora impediu qualquer tentativa de funcionamento ou testes da fresadora, uma vez que sem a pilha de memória o sistema não arranca.

Outra consequência prende-se com a formatação dos dados de autodiagnóstico, já que toda a informação recolhida até ao momento da avaria foi apagada.

A aquisição de uma nova pilha mostrou-se complexa e demorada, porque apesar de ser um componente relativamente banal, a pilha em questão possui características dimensionais únicas do fabricante “Saft”.

A solução para este problema passa pela aquisição de uma pilha com as mesma característica elétrica, que se possa adaptar ao sistema para dessa forma eliminar a necessidade de recorrer a um único fabricante.

8 Conclusões

Nunca é demais valorizar a importância da manutenção de equipamentos produtivos, uma vez que a otimização de recursos e diminuição de custos é a fórmula de sucesso para muitas empresas.

Contudo, quando os sistemas a manter são de elevada complexidade, como no caso de máquinas de comando numérico, o cuidado deve ser redobrado, em particular na produção de registos históricos relevantes, uma vez que estes podem ser a chave para a resolução de futuros problemas técnicos.

A dissertação aqui apresentada pretendeu dar resposta a um problema concreto de avaria.

Foram estudados os diferentes tipos de manutenção e descrita evolução histórica e importância de máquinas-ferramentas de comando numérico.

Para além disso, fez-se um estudo aprofundado dos principais componentes presentes na generalidade das máquinas CNC. Fez ainda parte dos objetivos deste trabalho a caracterização dos principais dispositivos presentes na fresadora em estudo.

Por outro lado realizou-se uma importante atualização na máquina, uma vez que, o novo sistema de electroválvulas pneumáticas fornece um importante indicativo das possibilidades do retrofitting.

Desta dissertação resultam importantes registos acerca de máquinas-ferramentas de comando numérico em termos gerais, mas em particular obtém-se um conhecimento real dos componentes e funcionamento da fresadora CNC em estudo.

Apesar do estado de avaria manter-se inalterado foram eliminadas várias possíveis causas de falha pelo estudo aqui realizado.

Para além disso o desenvolvimento do manual se poderá revelar útil em futuros trabalhos de manutenção e reparação, e estabelecer um guia para trabalhos semelhantes para os restantes equipamentos que sofrem da falta de documentação técnicos.

Por outro lado, considera-se a importância de retificar algumas situações encontradas neste estudo. A remoção das blindagens da fresadora e o funcionamento

da mesma em operações de maquinagem sem as mesmas poderá ser prejudicial ao equipamento, aumentando o seu desgaste, reduzindo também dessa forma a qualidade das peças obtidas.

8.1 Sugestões para trabalho futuro

Foram realizados vários testes ao funcionamento dos dispositivos elétricos, no entanto, os servomotores de vários eixos e da árvore principal, não foram testados na íntegra, deste modo, sugere-se o seu estudo aprofundado.

Contudo este estudo requer a remoção de várias peças da fresadora CNC, sendo também sugerido um estudo prévio das condições de desmontagem da máquina, e uma correta catalogação dos componentes retirados.

Do estudo de retrofitting realizado a um subsistema do equipamento, ficou claro as potencialidades desta técnica, para além disso a obsolescência é um aspeto cada vez mais importante, uma vez que o aproveitamento de máquinas em fim de vida ou com avarias graves pode representar uma oportunidade de revitalizar uma empresa.

Por este motivo sugere-se um estudo de retrofitting focado na atualização do comando da fresadora CNC, dando ainda a sugestão da substituição por comandos denominados de OPEN CNC [19], que consistem na utilização de computadores pessoais no comando computadorizado requerendo apenas placas de comando para envio de sinais aos atuadores.

9 Referências

- [1] G. Seliger, Sustainable Manufacturing: Shaping Global Value Creation, Springer, 2012, 2012.
- [2] N. Tewari, Modern Trends In Manufacturing Technology, Concept Publishing Company, 1998.
- [3] F. Giudice e G. La Rosa, Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach, CRC Press, 2006.
- [4] B. Reddy, K. Maharaja e V. Murali, Retrofitting a case study, Indian Institue of technlogy, 2000.
- [5] F. Monchy, La fonction maintenance, Masson, 1991.
- [6] J. Souris, La Maintenance, Source de Profits, Les Editions D'Organisation, 1990.
- [7] X.-O. AFNOR NF.
- [8] F. J. G. Fernández, Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, FC Editorial, 2005.
- [9] R. F. B. Magalhães, Dissertação de Mestrado, Estudo e analise de procedimentos de manutenção industrial, Guimarães Portugal: Universidade do Minho, 2012.
- [10] M. Ben-Daya, S. O. Duffua e A. Raouf, Handbook of Maintenance Management, Springer-Verlag London Limited, 2009.
- [11] R. K. Mobley, An Introduction to Predictive Maintenance, Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [12] A. A. S. Miranda, Apontamentos das aulas de Manutenção, Guimarães: Universidade do Minho, 1993.
- [13] EN13306 e Norma.
- [14] P. Silva, Dissertação de Mestrado, Manutenção condicionada baseada na análise de vibrações, Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.

- [15] J. Farinha, Dissertação de mestrado, Uma abordagem Tero tecnológica da manutenção dos equipamentos hospitalares, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.
- [16] Y. Takahashi e T. Osada, MPT: Manutenção Produtiva Total, IMAM, 1993.
- [17] J. P. Cabral, Organização e gestão da manutenção - dos conceitos à prática., Lisboa : Lidel, 2006.
- [18] P. D. Tilton, Evaluation of retrofit applications of numerical control, Virginia, EUA: Department of the Navy Industrial Division, 1961.
- [19] H. H. Erbe, Technologies for cost effective automation in manufacturing (low cost automation), Berlin, Alemanha: Center for Human-Machine Systems Technische Universitat Berlin, 2006.
- [20] S.-H. Suh, S.-K. Kang, D.-H. Chung e I. Stroud, Theory and Design of CNC systems, Springer, 2008.
- [21] H. A. Youssef e H. El-Hofy, Machining Technology, Machines Tools and Operations, CRC Press, 2008.
- [22] F. Pruvot, Conception et calcul des machines-outils, volume 1 Généralités, Morphologie, Plan général, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1993.
- [23] Y. Koren, Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw-Hill International Book Company, 1983.
- [24] O. Puckle e J. Arrowsmith, An introduction to Numerical Control of Machine Tools, 1968: W.&J.Mackay & Co Ltd..
- [25] Y. Altintas, MAnufacturing Automation, Metal cutting mechanics, Machine tool vibrations, and CNC Design, Cambridge University Press, 2000.
- [26] CECIMO, "<http://www.cecimo.eu/site/>,"
- [27] Instituto Nacional de Estatística, "<http://www.ine.pt/>"
- [28] J. Madison, CNC Machining Handbook, Industrial Press Inc., 1996.

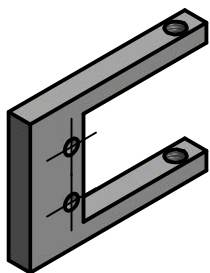
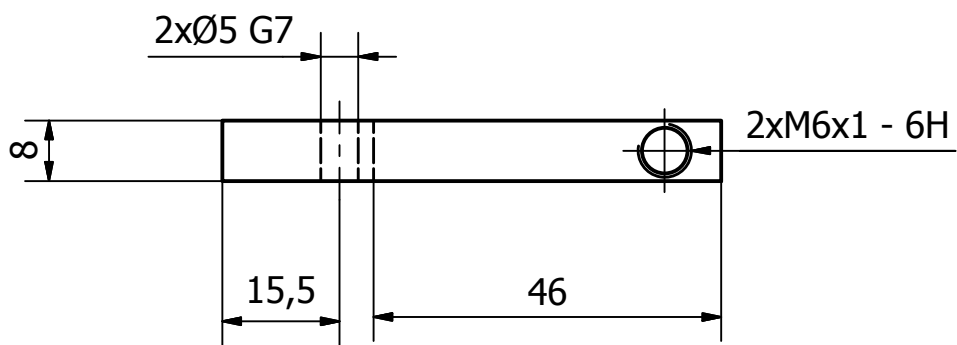
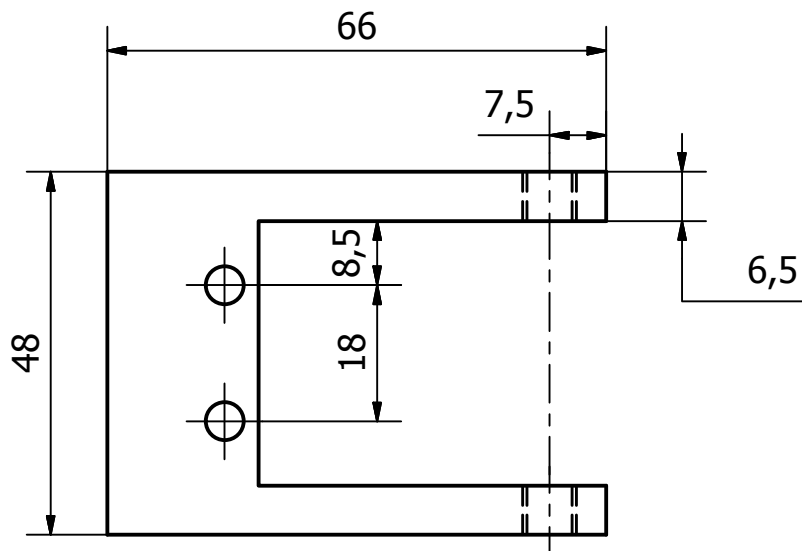
- [29] B. S. Pabla e M. Adithan, CNC Machines, New Age International, 1994.
- [30] S. Krar e A. Gill, Computer Numerical Control Programming Basics, Industrial Press, Inc., 1999.
- [31] Y. Koren, Control of Machines Tools, Universidade do Michigan, 1995.
- [32] M. P. Groover, Automation, Production Systems and CIM, McGraw-Hill, 2001.
- [33] G. E. Thyer, Computer numerical control of machine tools, Industrial Press Inc, 1993.
- [34] A. Dupont e A. Castell, Technologie professionnelle générale: Etude fonctionnelle des machines-outils, Desforges éditeur, 1968.
- [35] R. L. Stoeterau, Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Mecânica, 2004.
- [36] A. H. Slocum, Precision Machine Design, Prentice Hall, 1992.
- [37] J. E. Shigley e C. R. Mischke, Projeto de Engenharia Mecânica, Bookman, 2005.
- [38] P. Fiorellino, Introductory Course in the Numerical Control of Machine Tools: Training Course for Industrial Personnel and Students of Technical Colleges;, ACIERA Ag, 1981.
- [39] Lorentz e H. Antoon, Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles vol. 25, 1892.
- [40] R. L. Norton, Cinemática e dinâmica dos mecanismos;, McGraw Hill Brasil.
- [41] D. P. L. Brandão, Maquinas Electricas, Introdução a maquinas electricas de corrente continua;, Lisboa, : fundação calouste Gulbenkian, 1984.
- [42] M. d. M. Dias, Three-Phase Synchronous Engines with Permanent Magnets, McGraw-Hill Brasil.
- [43] W. Bolton, Mecatrônica: Uma abordagem multidisciplinar, Bookman.

- [44] C. Sousa, Erros, Conceitos elementares, CATIM.
- [45] P. L. Conley, D. Packard e W. Purdy, Space Vehicle Mechanisms: Elements of Successful Design;, John Wiley & Sons,, 1998.
- [46] E. A. Parr, Industrial Control Handbook;, Industrial Press Inc., , 1998.
- [47] J. G. Webster, The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook;, Springer, 1999.
- [48] P. Smid, CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming;, Industrial Press Inc., 2003.
- [49] THK, "www.thk.com"
- [50] Korta, "<http://www.korta-sa.com/>"
- [51] Siemens, "<http://www.siemens.com/answers/pt/pt/>".
- [52] Origa, "<http://www.parker-origa.com/>"
- [53] Festo, "<http://www.festo.com/net/startpage/>"
- [54] Balluff, "<http://www.balluff.com/>"
- [55] S. Saravanan, G. Yadava e P. Rao, Machine Tool Failure Data Analysis For Condition Monitoring, Department Of Mechanical Engineering, Indian Institute Of Technology.
- [56] Schneider-electric, "<http://www.schneider-electric.com>".

10 Anexos

Anexo A

Desenhos técnicos



	Data	Nomes		
Desenhou				Universidade do Minho -Dep. Eng. Mecânica-
Verificou				
Homologou				
Escala	Suporte de Electroválvulas			
1:1				

Anexo B

Manual Técnico da Fresadora CNC

Introdução

Este manual pertence à fresadora de comando numérico com 4 eixos de maquinaria da SwissPerfo comandada por um PLC (Programable Logic Controller, em português, Controlador Logico Programável) Siemens através do seu sistema SINUMERIK 820 que se encontra no laboratório de fabrico automático na Oficina de Formação e apoio do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho.

Uma vez que a fresadora em questão foi cedida pelo departamento de Engenharia de Produção, na altura sediado no polo de Gualtar em Braga, e apesar de todos os esforços na catalogação de todos os componentes e documentação referentes a esta máquina-ferramenta durante a sua realocação para a Oficina de Formação e Apoio do Departamento de Engenharia Mecânica no polo de Azurém, pressupõe-se que o manual detalhado desta máquina se perdeu. Sendo assim constam nos arquivos do laboratório apenas os manuais de utilizador e de programador do comando numérico da Siemens assim como um pequeno texto focado na manutenção preventiva da fresadora, assim como os esquemas de ligação eléctrica/pneumática.

Com a sua utilização quase diária, o estado de degradação da máquina ferramenta agravou-se, verificando-se uma avaria durante uma operação de maquinaria, tornando esta fresadora inoperacional.

Sentido a necessidade de se reparar a máquina, tornou-se claro a importância que um manual detalhado teria neste processo, criando assim o motivo para a elaboração deste texto que pretende colmatar este problema, e fornecer uma base para melhoramentos futuros

Instalação

Transporte

Peso: ...

Método: Usando um conjunto de cintas, içar a máquina na sua totalidade.

(Figura 1)

Recomenda-se a remoção da porta de resguardo e a gaveta de recolha de aparas assim como todos os componentes suscetíveis de quebra



Figura 1 Sugestão de deslocamento da Fresadora

Limpeza

1. Remover toda a poeira e sujidade da máquina
2. Limpar todas as superfícies com petróleo de limpeza comum.
3. Limpar todos os contactos eléctricos, sensores de contacto (ver componentes), com líquido de limpeza elétrico.

Fundação

A fresadora necessita de um local de trabalho apropriado estando na tabela seguinte algumas condições que devem ser asseguradas (considerando uma altitude a 1500 metros acima do nível do mar).

Temperatura	
- Mínima	0 ^o C
- Máxima	+45 ^o C / +55 ^o C
Ponto de Orvalho e Humidade Relativa	
- Média anual	$T_d = 17^{\circ}C$ U = 75%
Condensação	Não permitida
Variação de temperatura	
-num período de 1 hora	$\leq 10^{\circ} C$
-num período de 3 minutos	$\leq 1^{\circ} C$
Pressão atmosférica	86 kPA / 108 kPA

Na Figura 2 estão descritas as dimensões máximas da máquina-ferramenta e do seu comando. De salientar que a altura máxima da fresadora é de 1500 mm, que corresponde às guias do resguardo.

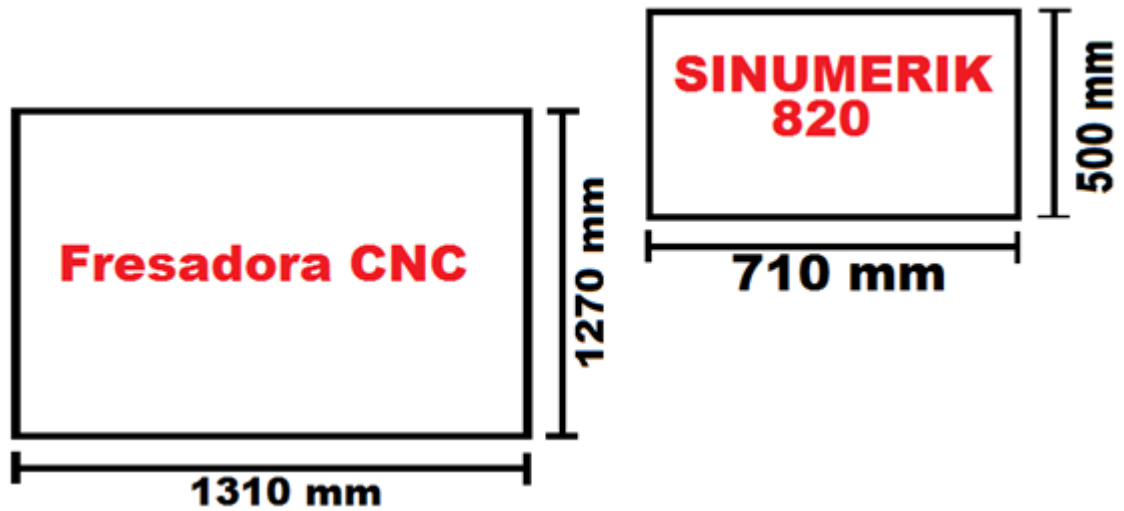


Figura 2 Dimensões gerais da Fresadora CNC

Idealmente, todas as máquinas-ferramentas deveriam ser aparafusadas ao chão para evitar deslocamentos (Figura 3). No entanto na sua maioria dos casos a sua colocação num chão de cimento ou em cima de placas anti vibratórias é suficiente

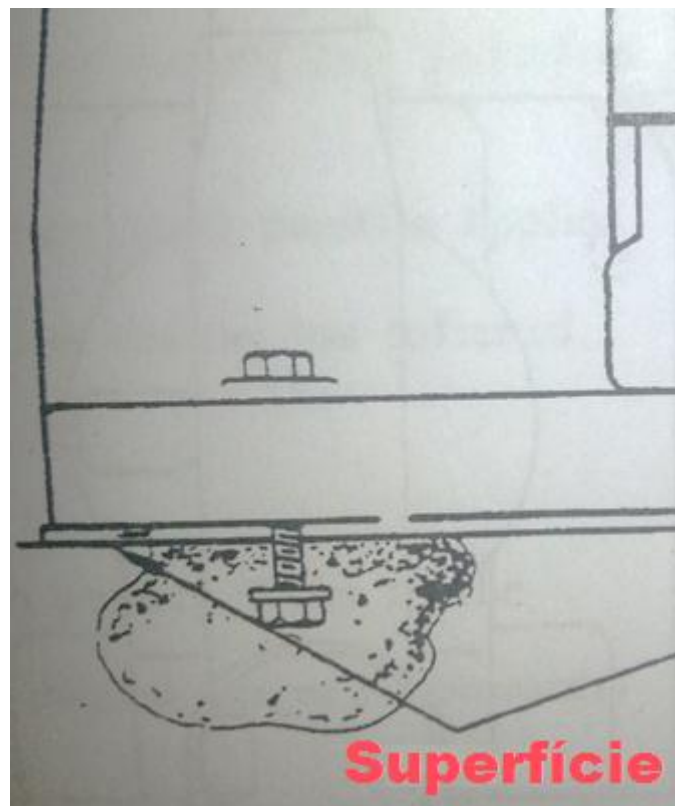


Figura 3 Fixação ideal

Fornecimento de energia

Garantir que o fornecimento de energia é o adequado para a máquina-ferramenta e seu comando.

Condições	Tensão Nominal	Frequência	Carga Máxima à tensão nominal	Perda máxima de potência	Corrente máxima de arranque
PLC	230V AC +10% -20%	50/60 Hz ± 5 Hz	500 VA	245 W	20× Corrente Nominal por 10 ms

Característica do fornecimento de energia em corrente alternada:

Tensão Nominal:	230 V
-Tolerância	-20%, +10% (184 – 253 V)
- Frequência	50/60 Hz, ± 5 Hz
- Duração do primeiro período no arranque	≤ 100 ms
Conteúdo Harmónico (de acordo com a norma IEC 550, secção 6.5 e DIN VDE 0160, secção 5.3.1.2)	10 %
Sobre tensão não-periódica (de acordo com a norma DIN VDE 0160 secção 5.3.1.1.2)	
- Tempo de normalização	≥ 0.1 s
- Eventos por hora	≤ 10
Intervalos de flutuação de Tensão (de acordo com a norma IEC 550, secção 6.5 e DIN VDE 0160, secção 5.3.1.1)	
- Duração máxima da flutuação	≤ 10 ms
- Tempo de normalização	≥ 10 s
- Eventos por hora	≤ 10

Característica do fornecimento de energia em de corrente contínua:

Tensão Nominal:	24 V
-Tamanho da onda	20 a 30 V
- Flutuação máxima da tensão	3.6 V
- Duração o primeiro período no arranque	≤ 100 ms
Conteúdo Harmónico (de acordo com a norma IEC 550, secção 6.5 e DIN VDE 0160, secção 5.3.1.2)	10 %
Subtensão não-periódica (de acordo com a norma DIN VDE 0160 secção 5.3.1.1.2)	≤ 35 V
-Duração da subtensão	≤ 500 ms
- Tempo de normalização	≥ 50 s
- Eventos por hora	≤ 10
Intervalos de flutuação de Tensão	
- a 24 V	≥ 14.25 V
- Duração máxima da flutuação	≤ 5 ms
- Tempo de normalização	≥ 10 s
- Eventos por hora	≤ 10

Preparação para funcionamento

1. Montar todos os componentes removíveis da fresadora, como o resguardo, a gaveta de recolha de apara



Figura 4 Fixação e colocação do resguardo e gaveta de recolha de apara

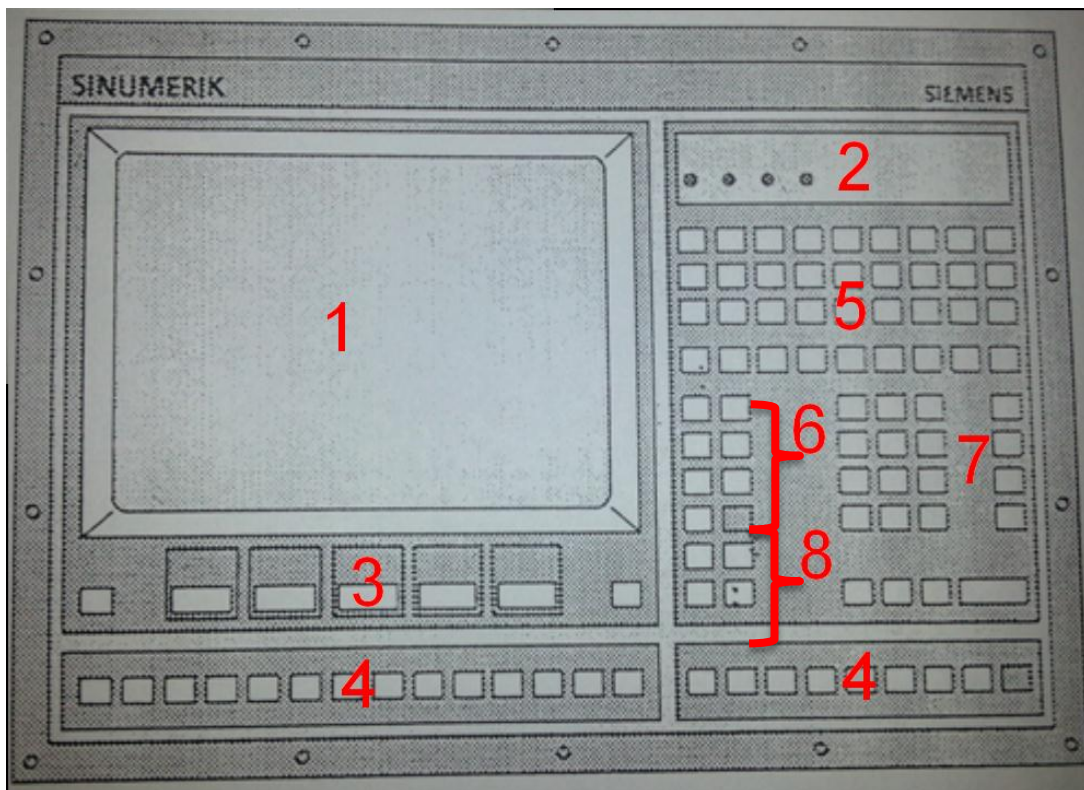
2. Ligar correctamente todos os cabos de alimentação;
A ligação de um sistema eléctrico desta gama, pressupõe alguns cuidados na sua fase inicial, entre eles o respeito pelas características básicas da corrente necessária.
3. Ligar correctamente o sistema de ar comprimido;
4. Ligar correctamente todos os cabos de informação;
5. Verificar tensão das correias de transmissão de movimento;
6. Nivelar correctamente a máquina-ferramenta. Para garantir o correcto funcionamento das operações de maquinagem, sugere-se o seguinte processo:
 - a. Colocar um porta-peças vazio na mesa;
 - b. Fixar o porta-peças à mesa usando o comando M50;
 - c. Bloquear a mesa com o comando M52;
 - d. Utilizar um nível para garantir a horizontalidade do sistema;

Nota: em anexo encontra-se um documento da SwissPerfo, intitulado, “Hardware Commissioning Manual”, que contém diversa informação acerca das rotinas que devem ser seguidas quando se iniciam os mais variados sistemas (ar comprimido, energia, lubrificante, etc.) logo após avaria ou interrupção não planeado do trabalho.

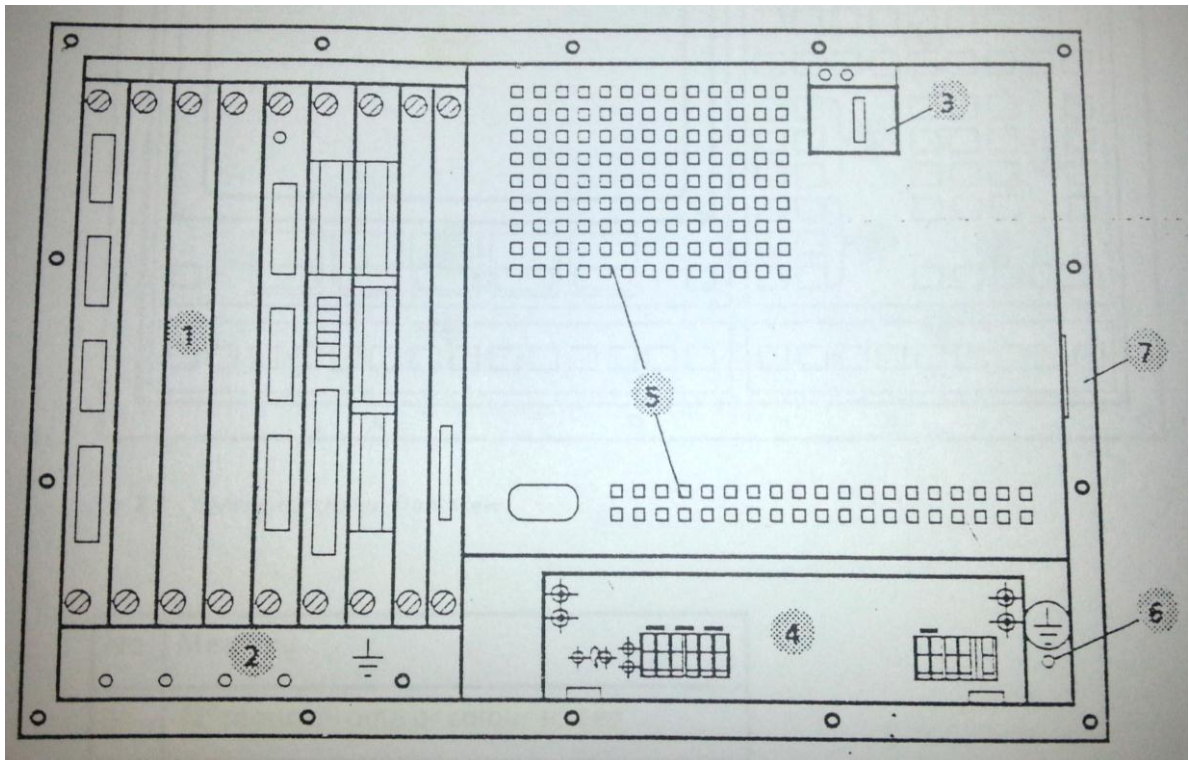
Controlo da Máquina-ferramenta

Todo o controlo desta máquina-ferramenta é efectuado a partir do PLC da Siemens SINUMERIK 820.

O SINUMERIK 820 é um PLC, para CNC's de pequenas e médias de dimensões, com possibilidade até 5 eixos de movimento. Pode-se aplicar a tornos e fresadoras.



N.	Componente
1	Ecrã de 12 polegadas
2	Indicadores (LED's)
3	Teclas
14	Teclas programáveis pelo utilizador
5	Teclas ASCII com caracteres especiais
6	Cursor
7	Teclas numéricas para funções de cálculo
8	Teclas especiais



N.	Componentes
1	Subpartição para o Controlo Numérico e PLC
2	Faixa equipotencial
3	Bateria de reserva
4	Fonte de alimentação
5	Grelha de refrigeração
6	Terminal de condução protegido
7	Falange de montagem

Lubrificação

A seguinte tabela, enuncia os princípios de manutenção preventiva a ter com a máquina-ferramenta, e a sua frequência.

Operação	Frequência			
	10 hrs	50 hrs	3 meses	2 anos
Lubrificação				
-Guias e fuso de esferas		*		
- Porta-Ferramentas		*		
-Robô porta-ferramenta e porta-peça		*		
-Maquina		*		
Ar Comprimido				
-Filtro		*		
-Óleo lubrificante		*		
Tensão das Correias				*
PLC			*	
Sprinkler				
- Nível do Líquido	*			
-Limpeza			*	
-Filtro				*
SINUMERIK				*

Lubrificação de componentes mecânicos

Guias e fusos de esferas

1. Remover a fita de velcro protectora nos extremos do eixo X e Y
2. Os dois bicos de lubrificação em cada extremidade dos eixos X, Y e Z permite lubrificarem as suas guias.
3. Remover os foles protectores dos fusos de esferas, e lubrificar dos lados X+, Y+, Z+ (cada fuso possui um bico de lubrificação).
4. Voltar a colocar os foles protectores e o velcro.

Nota: O eixo B e árvore não precisam de lubrificação.

Tipo de Óleo	ISO VG 32 – ISO VG 68
Viscosidade aos 40° C	28,8 a 74,8 mm ² /S

Porta Ferramentas

1. Limpar devidamente o porta ferramentas
2. Aplicar pasta protectora nas superfícies de contacto entre esta peça e a superfície do eixo B.

Tipo de Protecção	Molycote ou equivalente
--------------------------	-------------------------

Porta Paletes

1. Limpar devidamente a superfície
2. Aplicar pasta protectora nas guias do porta-paletes.

Tipo de Protecção	Molycote ou equivalente
--------------------------	-------------------------

Maquina

1. Limpar todas a superfícies da máquina;
2. Aplicar pasta protectora em todas as superfícies não pintadas da máquina;

Tipo de Protecção	Massa de protecção
--------------------------	--------------------

Ar Comprimido

Filtros

Purgar o filtro por completo pela válvula na sua lateral. A unidade deve estar parada e sem pressão no sistema.

Lubrificação

Verificar o nível de óleo e adicionar o necessário.

Tipo de Óleo	ISO VG 32
Viscosidade aos 40 C	28.8 a 35.2 mm ² /S

Tensão das correias

1. Retirar as protecções metálicas em torno do eixo Z
2. Retirar as protecções metálicas do lado esquerdo do eixo X
3. Retirar as protecções metálicas do topo do eixo Y
4. Retirar tampa lateral do eixo B
5. Verificar a tensão das correias do eixo Z,X,Y,B assim como da árvore da fresadora.
6. Se necessário, esticá-las, ajustando a posição dos motores

Nota: Nunca modificar a posição da correia em relação às polias.

Cabine do PLC

1. Analisar níveis de acumulação de poeira e sujidade nos filtros, limpar ou substituir quando necessário.
2. Avaliar a condição dos diferentes componentes
3. Avaliar o funcionamento dos displays.

Nota: Antes de tocar na cabine, desligar a corrente.

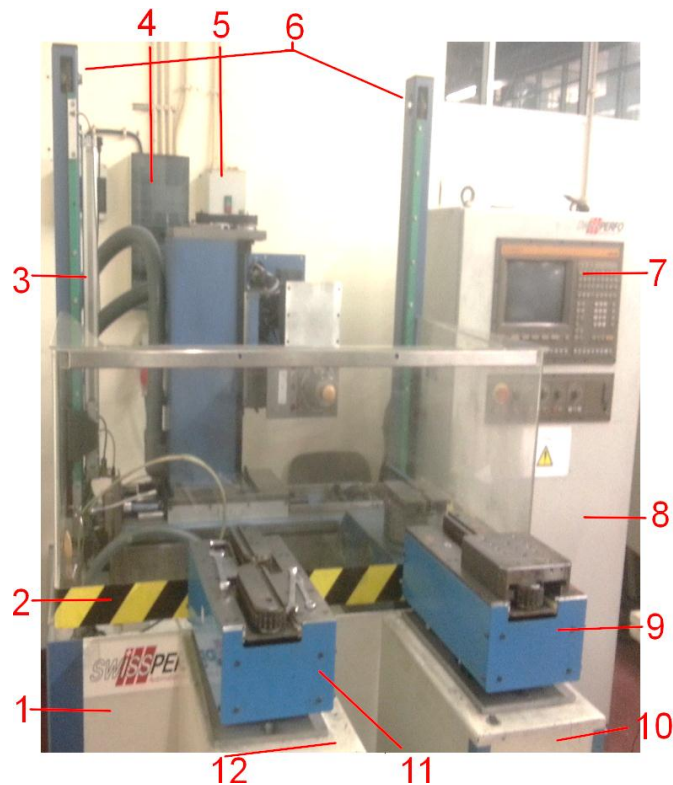
Sprinkler

1. Limpar convenientemente o sistema
2. Verificar os níveis de líquido
3. Avaliar o estado do filtro e substituir quando necessário.

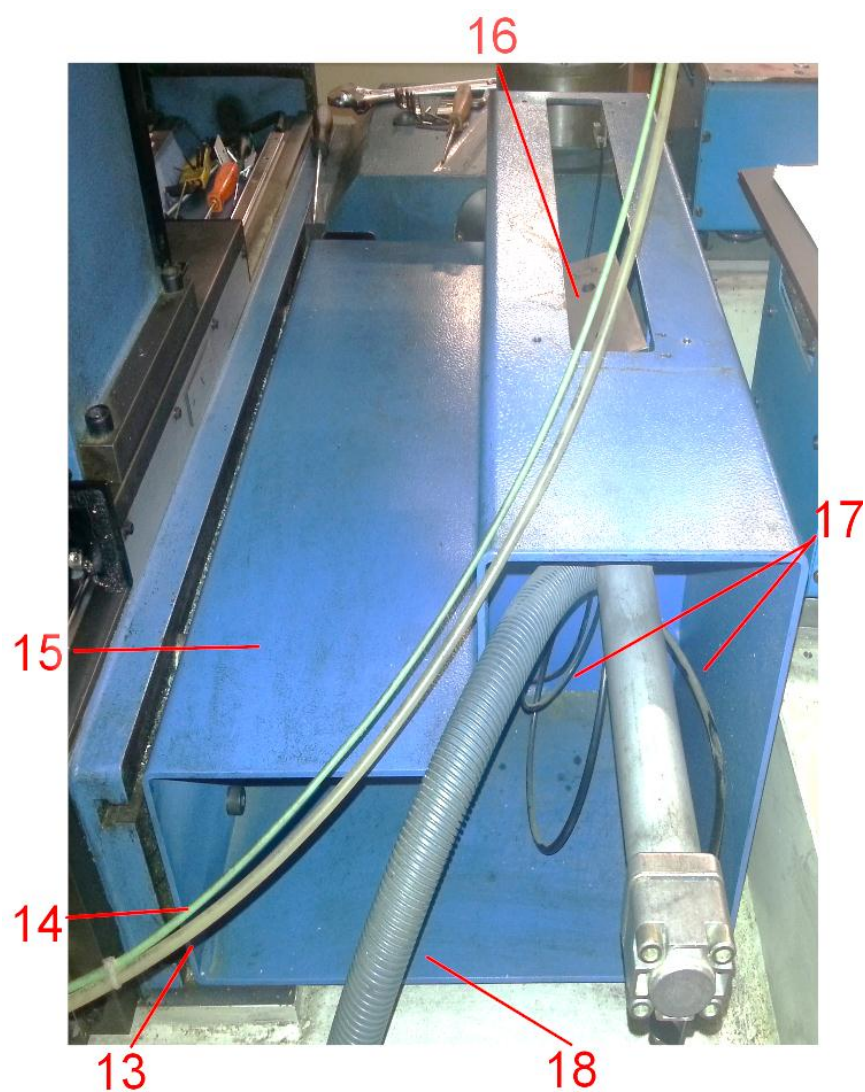
Lista de peças

Não existindo um manual físico da Fresadora CNC, procedeu-se ao levantamento de uma lista de peças recorrendo à técnica de engenharia inversa.

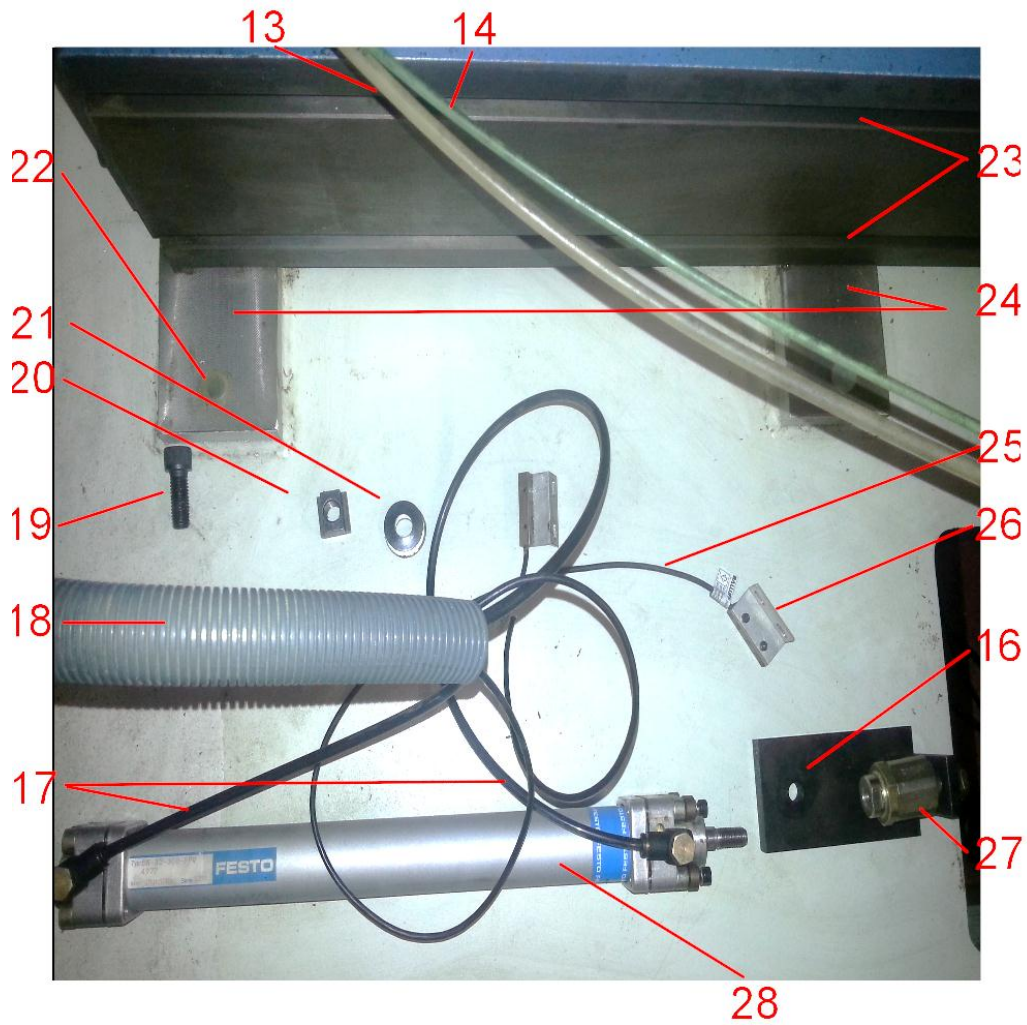
Esta lista de peças assentará num levantamento fotográfico extensivo à máquina-ferramenta.



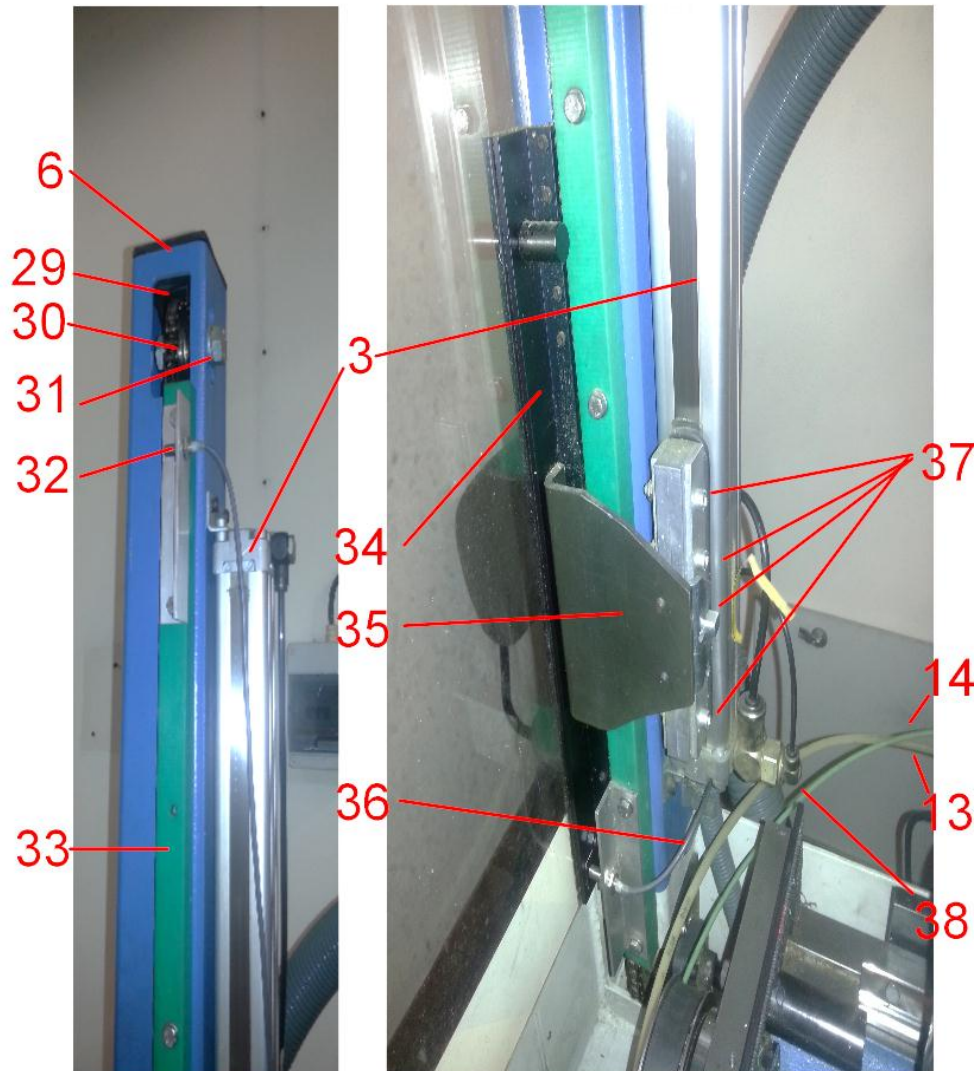
Nr.	Descrição	Quantidade
1	Base da máquina-ferramenta	1
2	Resguardo	1
3	Cilindro Pneumático "Origa" (Modelo: P210-25, pressão máxima = 8 bar)	1
4	Quadro elétrico	1
5	Proteção conta sobre voltagens	1
6	Guias do resguardo	2
7	Interface de controlo	1
8	PLC Siemens SINUMERIK 820	5
9	Robô Porta-peças	1
10	Mesa de troca rápida de peça	1
11	Robô Porta-peças	1
12	Mesa do robô Porta-peças	1



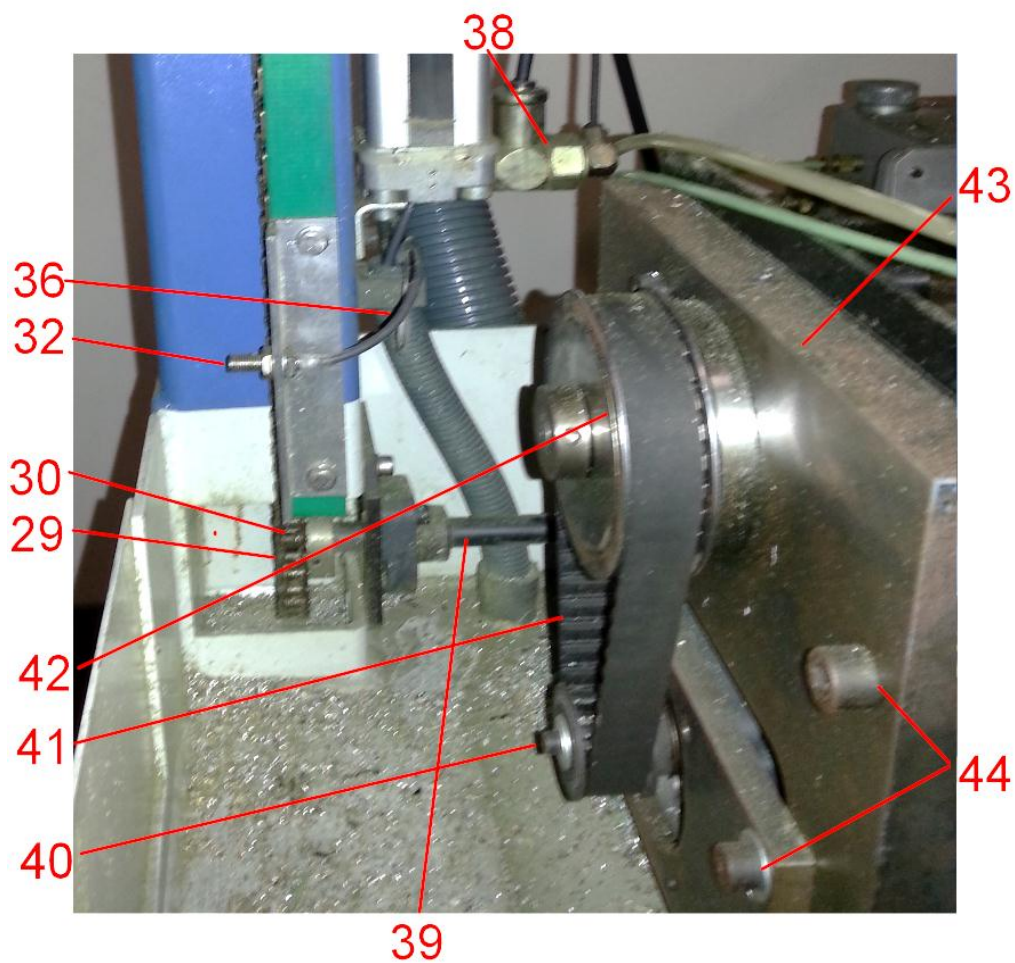
Nr.	Descrição	Quantidade
13	Mangueira de ar comprimido (4Ø)	1
14	Mangueira de líquido de corte (6,35Ø)	1
15	Mesa de suporte da troca rápida de peça	1
16	Suporte de porta-peças	1
17	Mangueira de ar comprimido (4Ø)	2
18	Manga (28Ø)	1



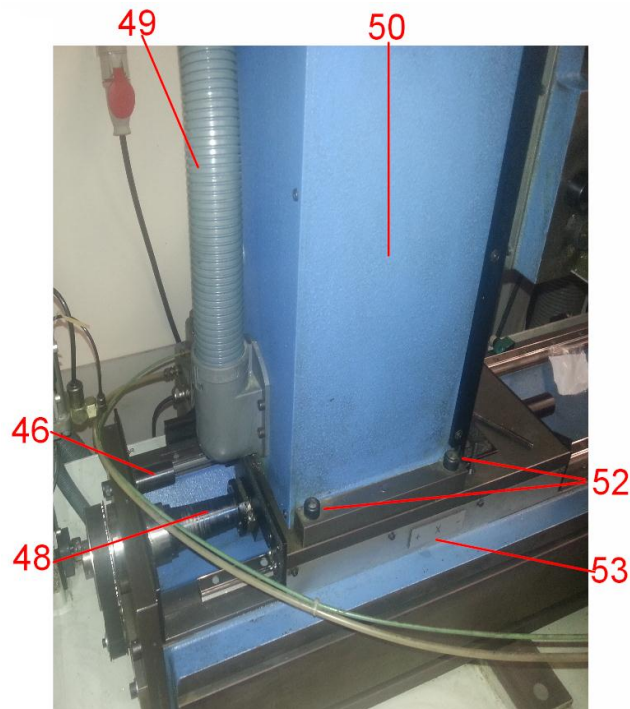
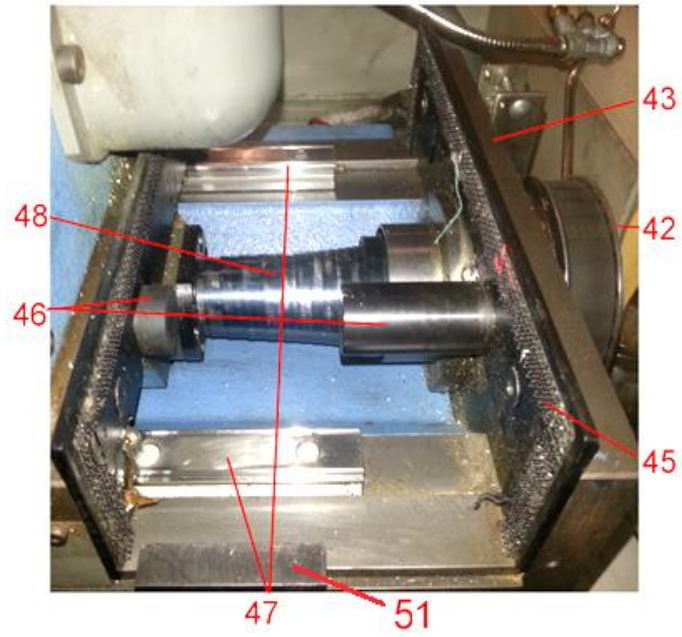
Nr.	Descrição	Quantidade
19	Parafuso M12x30 sextavado interior	4
20	Porca em T (M12)	4
21	Anilha M12	16
22	Parafuso M12x30 sextavado	4
23	Guia de suporte da mesa de troca rápida de peça	2
24	Superfície de apoio do barramento principal	-
25	Cabo de sinal do sensor Balluff "BES 1655"	8
26	Apoio de sensor indutivo	9
27	Encaixe entre a paleta e a haste do cilindro	1
28	Cilindro Pneumático "Festo" (Modelo: DN-32-300-PPV4977, pressão máxima = 12 bar)	1



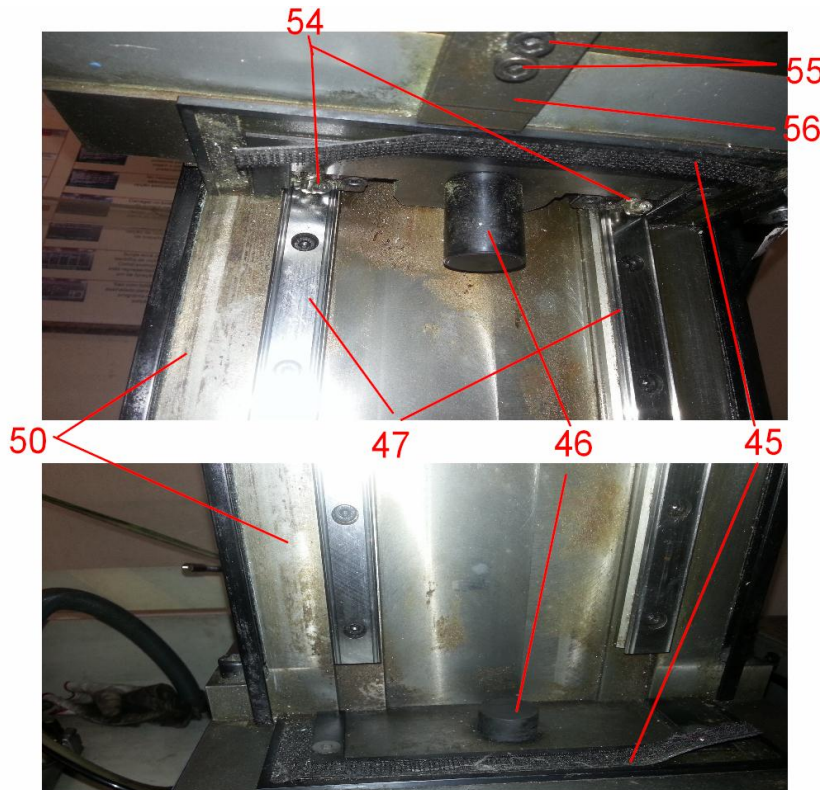
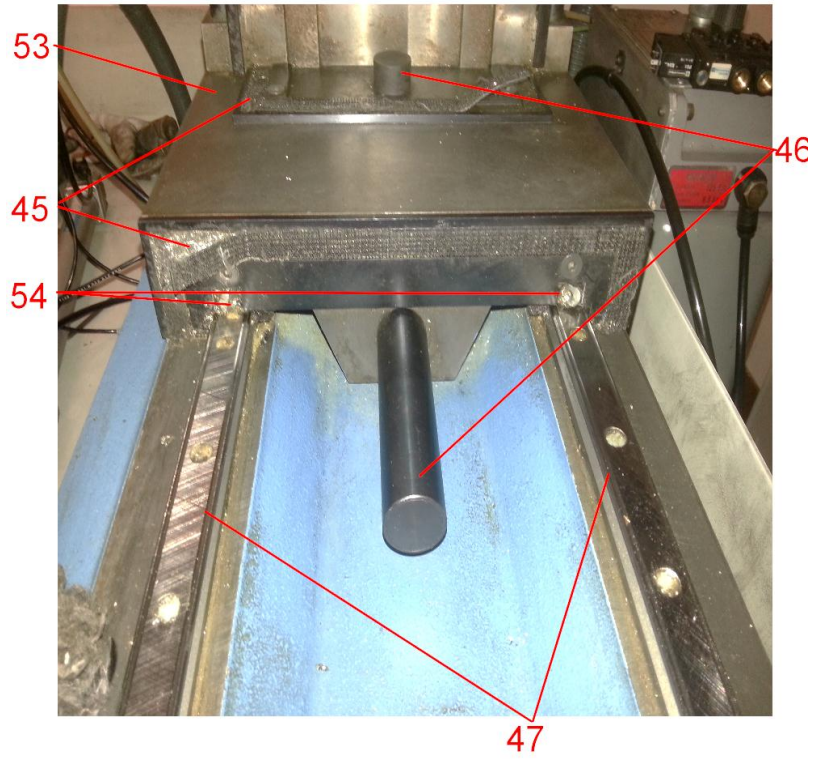
Nr.	Descrição	Quantidade
29	Corrente do resguardo	2
30	Roda dentada	4
31	Parafuso M12x65	4
32	Sensor indutivo	2
33	Barra secção quadrada	2
34	Apoio do resguardo	2
35	Suporte do resguardo (ligação entre resguardo e cilindro)	1
36	Cabo de informação	
37	Parafusos M10x22	4
38	Mangueira de ar comprimido (6Ø)	8

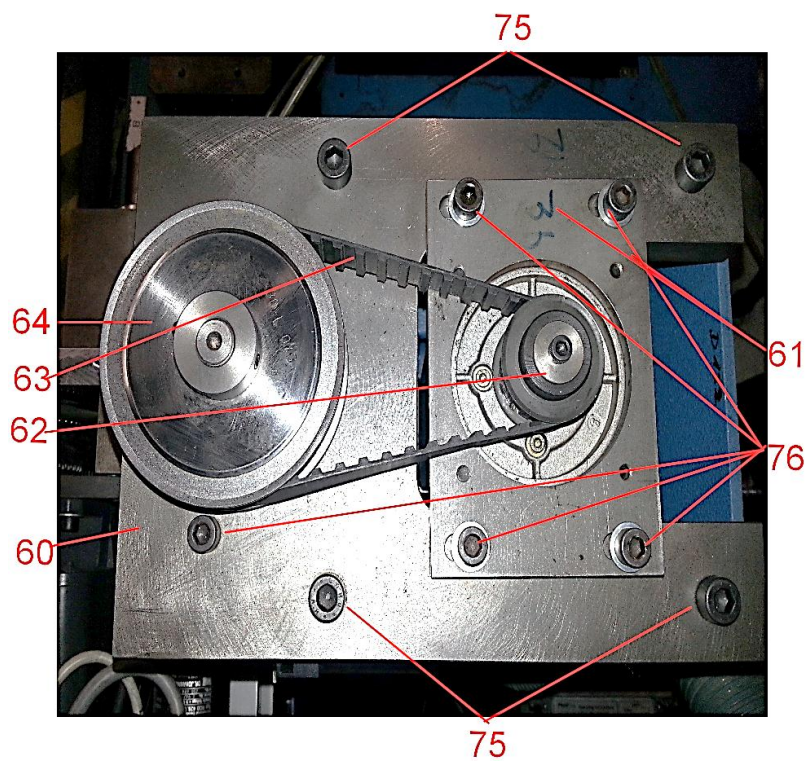
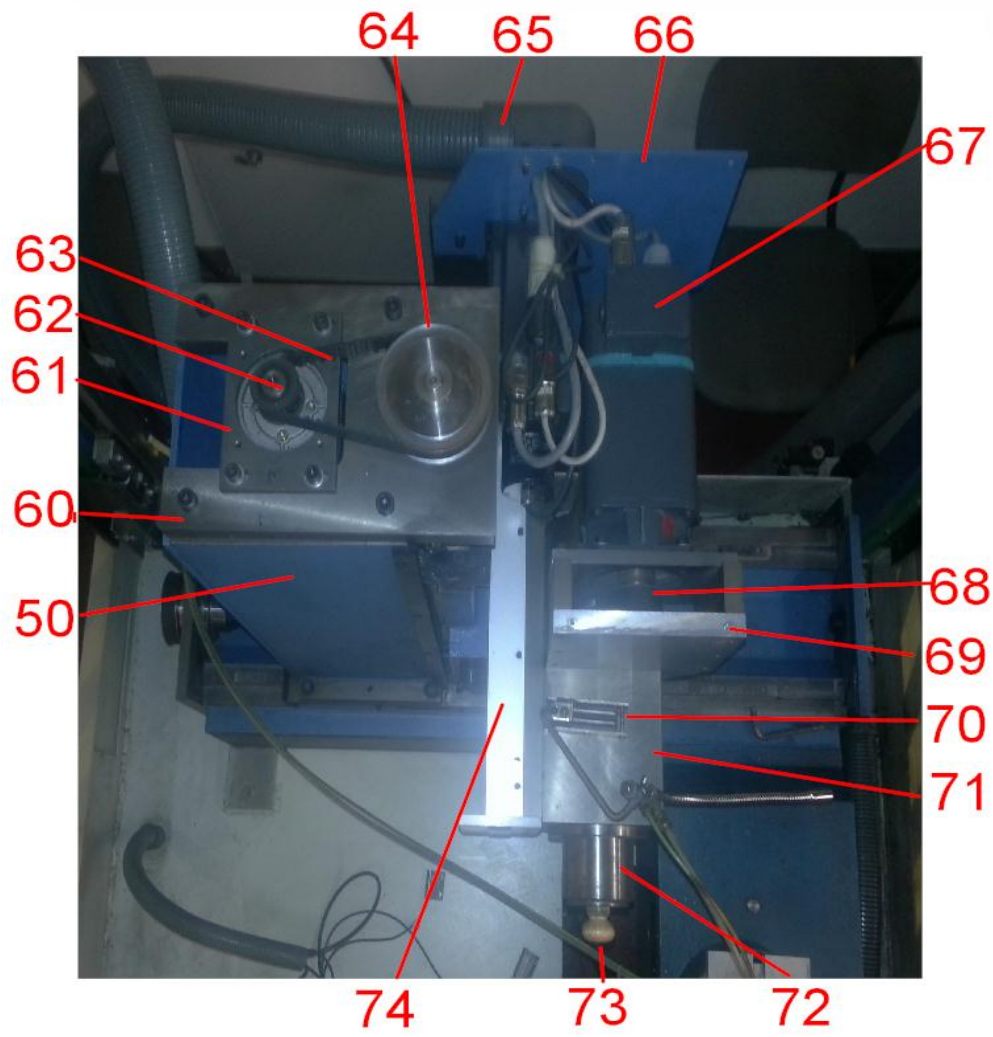


Nr.	Descrição	Quantidade
39	Eixo de transmissão de movimento entre guias do resguardo	1
40	Parafuso M6	4
41	Correia Pirelli "ISORAN"	1
42	Polia	1
43	Barramento do eixo X	1
44	Parafusos M14x22	4
45	Velcro para suporte de cortina de proteção	2
46	Batentes	10
47	Corrediças	6
48	Fole de proteção do fuso de esferas	3

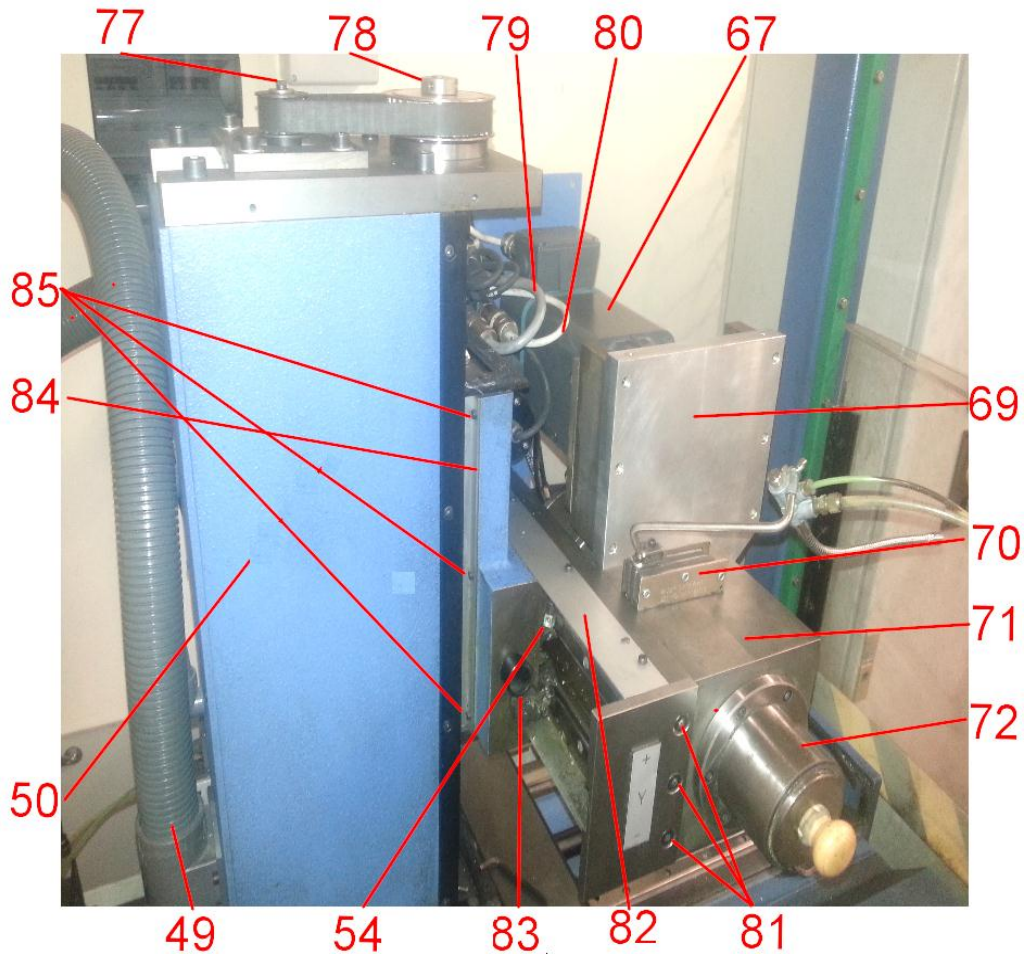


Nr.	Descrição	Quantidade
49	Manga de proteção para cabos de informação	3
50	Estrutura do eixo Y	1
51	Batente do sensor indutivo do eixo X	1
52	Parafusos M14x22	1
53	Carro de suporte do eixo Y e Z	1

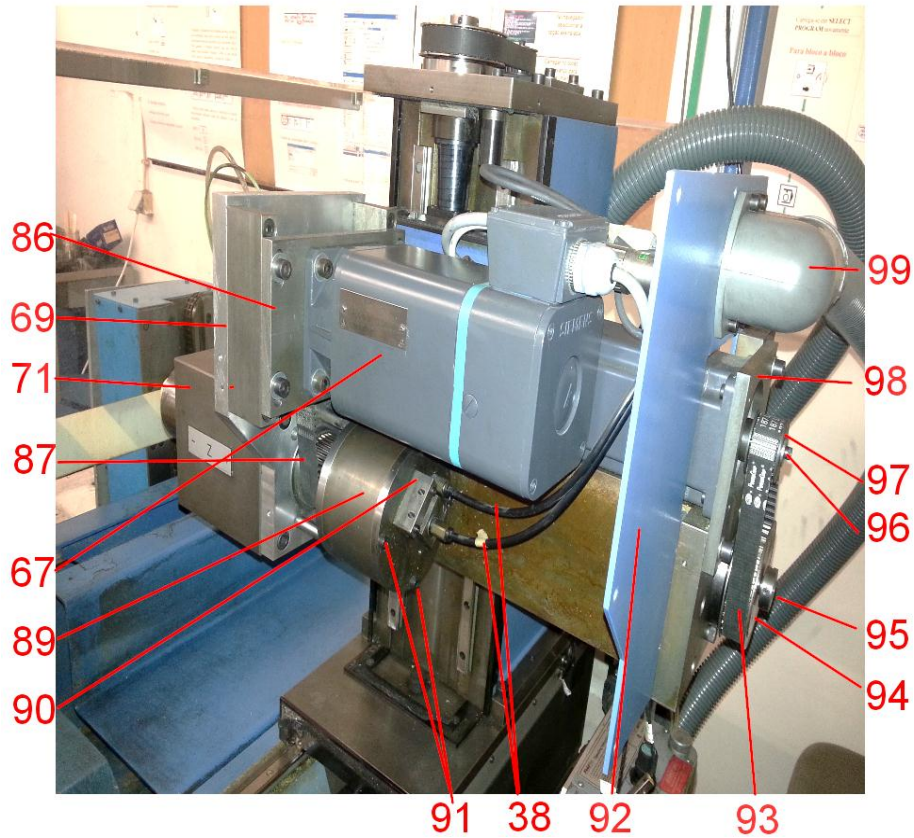




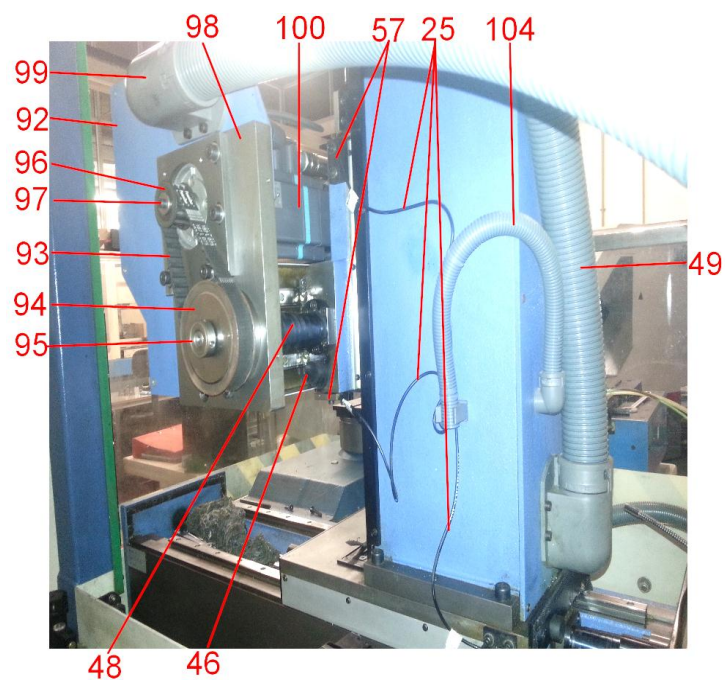
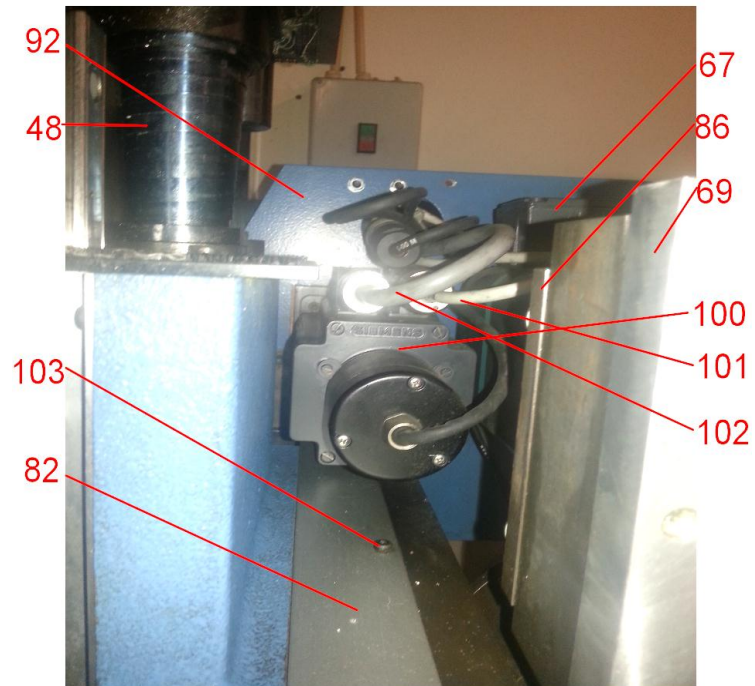
Nr.	Descrição	Quantidade
54	Dispositivo de lubrificação	12
55	Parafuso M6 sextavado	16
56	Chapa (1 mm)	1
57	Sensor Indutivo Balluff "BES-516-300-S-166-PU-5"	8
58	Porca do Parafuso de esferas recirculantes "KORTA DBS-2005-4"	3
59	Chumaceira Radial de apoio ao Parafuso de esferas recirculantes	6
60	Chapa (16 mm)	1
61	Chapa (10 mm)	1
62	Polia (Ø45 mm)	3
63	Correia "PowerGrip 187 L 075"	2
64	Polia (Ø85 mm)	3
65	Manga de proteção para cabos de informação (igual a 49)	3
66	Chapa pintada (4 mm)	1
67	Motor SIEMENS "1FT5062-0AK01-2"	1
68	Correia "PowerGrip HTD 475-5M"	1
69	Chapa (24 mm)	1
70	Sprinkler B-133	1
71	Sistema de apoio da ferramenta de corte	1
72	Sistema de fixação da ferramenta de corte	1
73	Tampo	1
74	Chapa (1 mm)	1
75	Parafuso M6	4
76	Parafuso M5	5



Nr.	Descrição	Quantidade
77	Parafuso de fixação da polia M8	3
78	Parafuso de fixação da polia	3
79	Cabo de informação do servo motor	4
80	Cabo de alimentação do servo motor	4
81	Parafuso M8	3
82	Chapa (1mm)	1
83	Batente do eixo Z	1
84	Chapa (1mm)	1
85	Parafuso M6	3



Nr.	Descrição	Quantidade
86	Chapa (20 mm)	1
87	Correia "PowerGrip HTD 475-5M"	1
88	Parafuso de fixação do cilindro	1
89	Cilindro pneumático de simples efeito com retorno de mola	1
90	Chapa de suporte do sensor indutivo	2
91	Parafuso M6	4
92	Cabo de informação do sensor indutivo "BES-516-324-E4-C-PU-5"	2
93	Correia "PowerGrip 187 L 075"	1
94	Polia (Ø85 mm)	1
95	Parafuso de fixação da polia	1
96	Parafuso de fixação da polia M8	1
97	Polia (Ø45 mm)	1
98	Chapa (16 mm)	1
99	Manga de proteção para cabos de informação (igual a 49 e 65)	1



Nr.	Descrição	Quantidade
100	Motor SIEMENS "1FT5044-0AF01 -1-Z"	1
101	Encoder Ótico Incremental "ROD 426"	1
102	Cabo de informação do enconder ótico	1
103	Parafuso M4	4
104	Manga de proteção para cabos de informação para o motor do eixo Y	1

