



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

André Filipe Ribeiro de Sousa

**Estudo de Requalificação de Máquinas  
Ferramenta CNC**

Estudo de Requalificação de Máquinas Ferramenta CNC

André Filipe Ribeiro de Sousa

UMinho | 2021

julho de 2021





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

André Filipe Ribeiro de Sousa

**Estudo de Requalificação de Máquinas  
Ferramenta CNC**

Dissertação de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao

Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor António A. Caetano Monteiro**

julho de 2021

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações**  
**CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## Agradecimentos

Este espaço serve o propósito de enaltecer todas as pessoas que de certa forma contribuíram para a realização desta dissertação às quais passo a agradecer:

Ao meu Orientador Professor Doutor Caetano Monteiro por toda a disponibilidade, pelo acompanhamento incansável, e sobre tudo, pela confiança depositada aquando da realização do todo o trabalho.

Agradeço ao Engenheiro Filipe Marques, por toda a ajuda, pelos conselhos, e pela partilha de conhecimentos oriundos da sua experiência ao nível da indústria.

Agradeço a toda a minha família e amigos pelo imensurável apoio, principalmente à Senhora Maria Alice por acreditar quando duvidei, por me guiar quando me senti desorientado, por ser minha mãe.

## Resumo

Os grandes avanços tecnológicos permitiram que a manufatura flexível alcançasse um patamar de grande importância para a indústria, uma vez que a necessidade de produtos variados e em pequenos lotes tem vindo a crescer cada vez mais. Assim é imperativo a garantia do bom funcionamento dos equipamentos, através de estratégias de manutenção, para que a disponibilidade do equipamento seja sempre salvaguardada, contribuindo para o sucesso e competitividade de uma empresa. Esta dissertação tem por objetivo fornecer ao leitor uma perspetiva diferenciada relativamente a um equipamento CNC, no caso um centro de maquinagem de quatro eixos, associado a engenharia de manutenção. Numa primeira fase, são abordados princípios de manutenção por forma a suscitar uma melhor compreensão sobre o que representa o recondicionamento de equipamentos CNC. Posteriormente é realizado um enquadramento histórico da evolução da máquina de ferramenta até ao ponto em que surgem os primeiros equipamentos CNC, sendo também feito uma enumeração dos componentes e materiais utilizados na sua construção. Posteriormente, e grande parte da dissertação, é voltada para o estudo do centro de maquinagem acompanhado pela sua desmontagem completa com o intuito de avaliar o seu estado de conservação e de possibilitar a oportunidade de criação de um manual baseado em registo fotográfico.

Palavras-Chave: Máquina-ferramenta; Fresadora; Comando Numérico Computorizado; Requalificação.

## Abstract

The great technological advances have allowed flexible manufacturing to reach a level of great importance for the industry, since the need for varied products in small quotas has been growing more and more. Thus, it is imperative to guarantee the proper functioning of the equipment, through maintenance objectives, so that the availability of the equipment is always safeguarded, contributing to the success and competitiveness of a company. This dissertation aims to provide the reader with a different perspective on CNC equipment, in the case of a four-axis machining center, associated with maintenance engineering. In a first stage, maintenance principles are deduced in order to raise a better understanding of what CNC equipment reconditioning represents. Subsequently, a historical overview of the evolution of the machine tool is carried out to the point where the first CNC equipment appeared, as well as an enumeration of the components and materials used in its construction. Subsequently, a large part of the dissertation, is focused on the study of the machining center accompanied by its complete disassembly to assess its state of conservation and to provide the opportunity to create a manual based on photographic record.

Key words: Machine tool; Milling machine; Computerized Numerical Command; Requalification

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas .....	ix
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	x
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivação .....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Metodologias .....	4
1.4. Organização da Dissertação.....	5
<b>2. Manutenção Mecânica .....</b>	<b>6</b>
2.1 Tipos de manutenção.....	7
2.1.1. Manutenção Corretiva .....	8
2.1.2. Manutenção Preventiva.....	9
2.2. Recondicionamento.....	11
<b>3. Máquina Ferramenta e o CNC .....</b>	<b>15</b>
3.1. Componentes de um Sistema CNC .....	18
3.2. Ciclo de Controlo .....	20
3.3. Codificadores .....	21
3.4. Motores.....	24
3.5. Estrutura do Barramento.....	28
3.6. Guiamento do Movimento Linear .....	29
3.7. Conversão e Transmissão do Movimento.....	31
<b>4. Descrição do Caso de Estudo.....</b>	<b>33</b>



4.1.	Caracterização do Equipamento.....	33
4.1.1.	Estrutura do Centro de Maquinagem.....	36
4.1.2.	Guias Lineares e Patins de Esferas.....	37
4.1.3.	Fusos e Porcas de Esferas Recirculantes.....	39
4.1.4.	Sistemas de Transmissão.....	41
4.1.5.	Servomotores.....	42
4.1.6.	Sensores Indutivos.....	49
<b>5.</b>	<b>Desenvolvimento do Trabalho.....</b>	<b>51</b>
5.1.	Desmontagem do Equipamento CNC.....	51
5.2.	Limpeza e Pintura.....	59
5.3.	Montagem do Centro de Maquinagem.....	60
5.4.	Requalificação de Componentes.....	63
<b>6.</b>	<b>Discussão de resultados.....</b>	<b>68</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>69</b>
7.1.	Sugestão de Trabalhos Futuros.....	70
	Referências.....	71
	Anexos.....	75

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Acontecimentos históricos na indústria [3].....	6
Figura 2.2 - Esquema dos tipos de manutenção [6].....	7
Figura 2.3 - Ação paliativa e curativa numa avaria [6].....	9
Figura 2.4 - Funcionamento da manutenção preventiva sistemática [8].	10
Figura 2.5 - Princípio de funcionamento da manutenção preventiva condicionada [8].	11
Figura 2.6 - Lei de Moore (24 meses) vs previsão 18 meses vs processadores Intel [12].	12
Figura 2.7 - Requalificação de torno CNC Gurutzpe, antes e depois [14].....	13
Figura 3.1 - Primeiros tornos: (1) Torno de arco no antigo império romano, (2) Torno de vara usado na idade media, (3) Torno de fuso usado a partir de 1600 [16].....	15
Figura 3.2 - Eixo de linha [18].....	16
Figura 3.3 - Máquina a vapor acionando o eixo de linha [19].	16
Figura 3.4 - Fresadora NC de 3 eixos do MIT, Cincinnati, Hydro-Tel [21].....	17
Figura 3.5 - Representação de um ciclo de controlo em malha aberta [26].	20
Figura 3.6 - Representação de um ciclo de controlo em malha fechada [26].....	21
Figura 3.7 - Componentes de um codificador rotativo Ótico [29].....	22
Figura 3.8 – Exemplo de um disco de um codificador ótico incremental [30].....	23
Figura 3.9 – Sinais gerados por um codificador incremental ou de quadratura [30].	23
Figura 3.10 - Exemplo de um disco de um codificador ótico absoluto [30].	24
Figura 3.11 - Servomotores e servo amplificadores [31].	25
Figura 3.12 - Construção de um servomotor CC com escovas [24].....	26
Figura 3.13 - Construção de um servomotor CA síncrono.[24].....	27
Figura 3.14 - Construção de um servomotor CA assíncrono [24].	27
Figura 3.15 - Guias lineares e respetivos patins de esferas recirculantes [35].	29
Figura 3.16 - Guias planas (box guide ways) [38].	30
Figura 3.17 - Fusos de esferas recirculantes [40].	31
Figura 3.18 - Principais sistemas de recirculação [39].....	32
Figura 4.1 - Diagrama de blocos do SIMODRIVE 610 [41].	34
Figura 4.2 – Centro de maquinagem horizontal Swissperfo “Type CU 200 H”.	35
Figura 4.3 - Trocador automático de ferramentas do centro de maquinagem (ATC).....	35
Figura 4.4 -Carregador de ferramentas tipo "Rack" (à esquerda) e cone porta ferramentas (à direita).	36

Figura 4.5 - Estrutura do Centro de Maquinagem, em aço, e localização das ligações aparafusadas do barramento. ....	37
Figura 4.6 - Identificação da guia linear e respetivo patim de esferas. ....	38
Figura 4.7 - Descrição técnica dos patins SR 20TB, obtida do catálogo da THK [42]. ....	38
Figura 4.8 - Descrição técnica das guias lineares SR 20, obtido catálogo da THK [42]. ....	39
Figura 4.9 - Fuso e respetiva porca de esferas. ....	39
Figura 4.10 – Características dimensionais do fuso e porca de esferas modelo S1D20-5M3, catálogo UMBRAGROUP [44]. ....	40
Figura 4.11 - Transmissão por correia trapezoidal, eixo Y. ....	41
Figura 4.12 - Ciclo de vida dos servomotores do centro de maquinagem [45]. ....	42
Figura 4.13 - Placas de identificação dos motores, motor da árvore (A), motor do Y (B), motor do X , Z e B (C). ....	43
Figura 4.14 – Variação da resistência em função da temperatura do termistor [46]. ....	45
Figura 4.15 - Características do sinal para um sentido de rotação horário [46]. ....	48
Figura 5.1 - Fase de desmontagem dos robôs. ....	51
Figura 5.2 - Desconexão de todas as ligações do bloco de terminais elétricos do centro de maquinagem, (a) antes de desconectar e (b) depois de desconectar. ....	52
Figura 5.3 - Remoção do bloco de electroválvulas. ....	53
Figura 5.4 - Estado de conservação da zona lateral direita da máquina. ....	53
Figura 5.5 - Estado de conservação da zona lateral esquerdo da máquina. ....	53
Figura 5.6 - Estado de conservação do interior da estrutura do suporte do trocador ferramentas. ....	53
Figura 5.7 - Árvore do centro de maquinagem. ....	54
Figura 5.8 - Remoção dos vários componentes da árvore. ....	54
Figura 5.9 - Eixo Z do centro de maquinagem. ....	54
Figura 5.10 - Remoção do eixo Z. ....	54
Figura 5.11 - Etapa da remoção do eixo B e o seu estado de conservação. ....	55
Figura 5.12 - Água enferrujada libertada do interior do eixo B. ....	56
Figura 5.13 - Desmontagem do servomotor do eixo B. ....	56
Figura 5.14 - Desmontagem da base. ....	57
Figura 5.15 - Estrutura cilíndrica de acondicionamento da base. ....	57
Figura 5.16 - Desmontagem do prato do sistema pneumático. ....	57
Figura 5.17 - Carro transversal do eixo X, visto de cima. ....	58

Figura 5.18 - Patins de esferas recirculantes do carro transversal do eixo X, visto de baixo. ....	58
Figura 5.19 Patim do carro longitudinal evidenciando a ausência de lubrificação e a contaminação por pó de MDF. ....	58
Figura 5.20 - Estado de conservação da estrutura da base. ....	58
Figura 5.21 - Quantidade de aparas e pó presentes no equipamento. ....	59
Figura 5.22 – Resultado da primeira demão da tinta. ....	60
Figura 5.23 - Tinta HAMMERITE utilizada na pintura da base [52]. ....	60
Figura 5.24 - Barramento e carro do eixo X depois de limpos e escovados. ....	61
Figura 5.25 - Laboratório durante a fase de montagem. ....	61
Figura 5.26 - Montagem da coluna e do carro do eixo Y. ....	62
Figura 5.27 – Fixação da coluna através de parafusos e alinhamento por pinos guia. ....	62
Figura 5.28 - Montagem do fuso de esferas do eixo Y. ....	62
Figura 5.29 - Montagem do eixo Z. ....	62
Figura 5.30 - Montagem da base retangular do eixo B. ....	63
Figura 5.31 - Vista de trás do eixo B todo montado. ....	63
Figura 5.32 - Estrutura do carregador de ferramentas. ....	63
Figura 5.33 - Unidade de fluido de corte. ....	64
Figura 5.34 - Pormenor do vedante danificado. ....	64
Figura 5.35 - Instalação da unidade de fluido de corte. ....	64
Figura 5.36 - Unidade de tratamento do ar comprimido do centro de maquinagem. ....	65
Figura 5.37 - Instalação da árvore, vista de frente. ....	66
Figura 5.38 – Árvore, vista de trás. ....	66
Figura 5.39 - Realização das ligações dos sensores e do sistema pneumático. ....	66
Figura 5.40 - Centro de maquinagem após requalificação. ....	67

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Comparação das características do NC com o CNC. [23].....	18
Tabela 4.1 – Lista dos locais das várias transmissões. ....	41
Tabela 4.2 - Dados técnicos, unidade de medição série 1FU. [46].....	44
Tabela 4.3 - Dados técnicos do travão do eixo Y. [46].....	46
Tabela 4.4 - Esquema elétrico dos servomotores e sua respetiva conexão e pinagem. [47],[48].....	47
Tabela 4.5 - Dados técnicos do encoder ROD 426. [46], [49].....	49
Tabela 4.6 – Principais dados técnicos dos modelos de sensores indutivos e respetivos diagramas elétricos. [50], [51].....	50

## Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

<b>Acrónimos/ Siglas</b>	<b>Significado</b>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CNC	Controlo Numérico Computorizado
CN	Controlo Numérico
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
MMI	Man Machine Interface
NCK	Numerical Control Kernel
PID	Proportional Integral Derivative
PLC	Programmable Logic Controller
PPR	Pulsos Por Revolução
PTC	Positive Temperature Coefficient

# 1. Introdução

O papel da máquina ferramenta de controlo numérico computadorizado, (CNC), tem vindo a ganhar uma posição de maior destaque no seio de várias indústrias. Este tipo de máquinas traz para uma empresa um aumento exponencial em termos de precisão e de rigor em todos os trabalhos bem como um aumento de produção, tornando-o mais eficiente economicamente.

A presença de máquinas ferramenta de controlo numérico computadorizado nas oficinas que requerem requalificações, com o acréscimo dos pontos em cima descritos tornam este tema um tema de interesse acrescido.

Por outro lado, a realização de uma requalificação destes equipamentos, surge como uma grande oportunidade ao nível da sustentabilidade de uma empresa, uma vez que a aquisição de um novo equipamento apresenta custos muito elevados. Desta forma, esta dissertação procura sensibilizar e salientar a importância da manutenção destes equipamentos, como uma oportunidade de prolongar o seu estado de bom funcionamento, tendo por consequência a expansão da sua vida útil.

## 1.1. Motivação

As máquinas ferramenta de controlo numérico computadorizado, (CNC), estão cada vez mais difundidas no ambiente industrial.

Muitas empresas, face a um ambiente competitivo, veem-se na necessidade de possuir equipamentos de CNC para a realização de pequenas tarefas de maquinagem, garantindo um serviço mais rápido, para não necessitarem de recorrer a terceiros para a execução dessas tarefas.

Um outro ponto importante a realçar, é a abrangência das várias áreas tecnológicas associadas a estes equipamentos tais como a mecânica, a eletrónica e a informática, tornando um bom desafio e muito enriquecedor ao nível da aprendizagem e aquisição de novos conhecimentos, uma vez que a base de formação do autor desta dissertação é a engenharia mecânica.

Por último e não menos importante, a requalificação constitui uma nova oportunidade de restabelecer o funcionamento, e muitas vezes aprimorado, destes equipamentos. Assim, e perante o fato de o objeto de estudo desta dissertação, se encontrar nas oficinas de mecânica da Universidade do Minho, a sua requalificação representa uma mais valia à realização de trabalhos futuros que requeiram a necessidade de uma fresadora CNC.



## 1.2. Objetivos

Esta dissertação centra-se no estudo e requalificação de uma fresadora CNC, incluindo não só a parte estrutural e mecânica, mas também a sua componente eletrónica e de controlo. Compreende também a avaliação dos subsistemas anexos à fresadora tais como o sistema pneumático, sensores e sistema de fornecimento de fluido de corte.

Foi necessário fazer uma hierarquização do trabalho a desenvolver para a requalificação do equipamento, e chegou-se à seguinte lista de ações a desenvolver, ordenada sequencialmente:

- Compreensão do funcionamento da máquina;
- Estudo dos trabalhos anteriormente realizados;
- Desmontagem e limpeza dos vários subsistemas;
- Avaliação da integridade dos componentes e da estrutura da máquina;
- Avaliação dos vários subsistemas da máquina;
- Aquisição/substituição de componentes mecânicos e/ou eletrónicos;
- Remontagem completa da máquina;
- Teste do funcionamento dos motores;
- Configuração e estabelecimento do novo sistema de controlo;
- Teste do funcionamento do conjunto;
- Criação de um manual de montagem baseado em registo fotográfico;

### 1.3. Metodologias

Atendendo que a presente dissertação é uma continuidade de trabalhos anteriormente realizados, foi necessário perceber em que estágio se encontrava o processo de requalificação da fresadora CNC. Para tal, foi necessário o estudo desses trabalhos para se delinear a melhor abordagem ao problema, e para que se obtivesse uma noção geral do funcionamento da máquina em questão.

Depois de efetuada a análise teórica dos processos de requalificação anteriormente propostos, foi possível reter através das propostas de trabalhos futuros, a necessidade de uma intervenção ao nível da componente mecânica. Também a falta de informação ao nível de manuais técnicos do equipamento, veio também apoiar essa mesma intervenção, visando a desmontagem completa da fresadora para posteriormente se realizar um manual de montagem tendo por base o registo fotográfico.

Ao longo da fase de desmontagem, e sendo a fresadora uma conjugação de vários subsistemas, aproveitou-se para averiguar o estado de funcionamento dos mesmos, nomeadamente o sistema pneumático, de lubrificação e a unidade de fluido de corte. Ainda na fase de desmontagem são identificados alguns problemas ao nível dos componentes mecânicos possivelmente associados a desgaste e falta de manutenção.

Depois da desmontagem sucedeu-se o processo de montagem, sendo efetuada uma limpeza completa dos vários componentes bem como a sua lubrificação.

Posteriormente é analisada a proposta adotada de controlo dos servomotores com a intenção de perceber o seu funcionamento bem como o estudo do *software* de controlo *GDtool*.

Finalmente foi executado um estudo do *software* CNC proposto, nomeadamente o *Linuxcnc*, visando a sua adaptação para o tipo de fresadora em questão, bem como a compreensão da sua relação com as *breakout boards* selecionadas para o projeto de requalificação.

## 1.4. Organização da Dissertação

No capítulo inicial, foi realizado uma pequena introdução por forma a contextualizar todo o resto do trabalho, bem como a motivação e os objetivos deste trabalho.

O segundo capítulo visa fornecer ao leitor algumas noções teóricas sobre os tipos manutenção em que no seu seguimento é introduzida uma nova abordagem relativamente aos equipamentos CNC.

No terceiro capítulo é feito um enquadramento histórico da máquina ferramenta até ao surgimento do CNC, sendo também realizada uma caracterização dos vários constituintes e componentes destes equipamentos.

O quarto capítulo é realizado uma descrição completa do caso de estudo desta dissertação, nomeadamente um centro de maquinagem de quatro eixos, bem como a caracterização dos vários componentes presentes no mesmo.

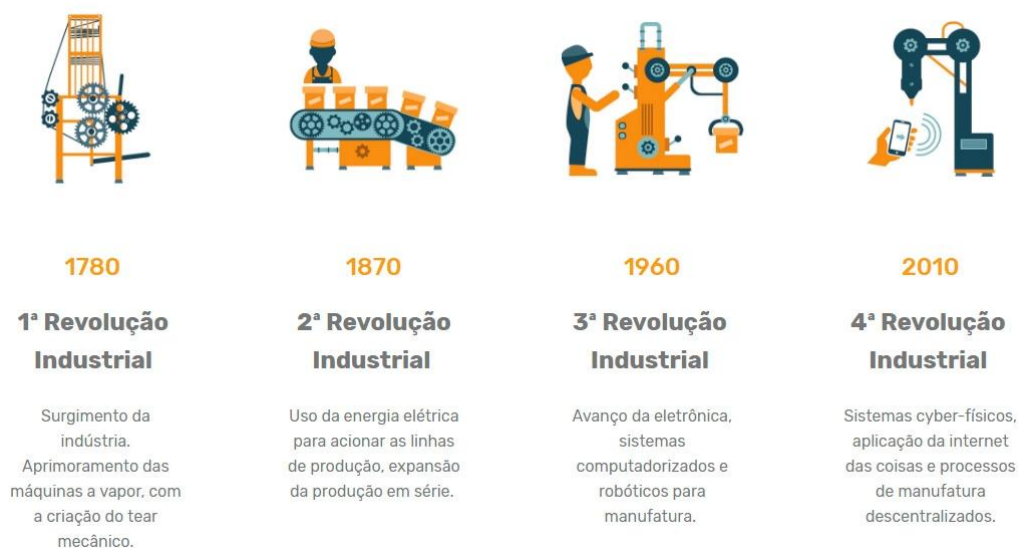
No quinto capítulo evidencia-se todo o trabalho de recondicionamento realizado no objeto do estudo desta dissertação, bem como a análise de alguns problemas encontrados durante o processo de desmontagem.

Finalmente nos últimos capítulos, é feita uma discussão de resultados seguindo-se a conclusão e a proposta de trabalhos futuros.

## 2. Manutenção Mecânica

Ao longo da história a manutenção foi ganhando um destaque muito importante no meio industrial. Inicialmente era tida como algo supérfluo, que apenas contribuía para o aumento das despesas de uma empresa [1],[2].

Na *Figura 2.1* estão evidenciados alguns acontecimentos históricos que constituem marcos da evolução da manutenção.



*Figura 2.1 - Acontecimentos históricos na indústria [3].*

A primeira revolução industrial foi o primeiro grande passo; nesta altura que surge a mecanização da indústria. Ainda nesta época, a manutenção era vista como secundária no processo produtivo, pois devido à pouca procura, era tolerável que um equipamento pudesse chegar ao ponto de falhar. Nasce assim, o conceito de manutenção corretiva [4].

Com o início da segunda revolução industrial, e até meados dos anos 30, a filosofia continuava a ser de manutenção corretiva. Contudo devido à produção em série e à 2ª Guerra Mundial, a exigência por uma maior produção, mais rápida e eficaz, levaria a indústria a criar um departamento de manutenção.

A manutenção começa a ser entendida como necessária, e passa a ser parte integrante da estrutura de produção visando o seu apoio. A crescente competitividade exigiu que a indústria

submetesse as suas unidades produtivas a critérios de excelência, pelo que a possível hipótese de um equipamento se encontrar em falha tinha de ser minimizada. Assim ficou marcado o período da terceira revolução industrial, em que a prevenção era sinónimo de sucesso. Não menos importante, vale a pena realçar ainda nesta fase o papel dos grandes e recentes avanços ao nível da tecnologia dos computadores e da eletrónica, como grandes impulsionadores da automatização de equipamentos. Estes avanços tornaram possível uma automatização crescente, e esta automatização tornou possível falar em manutenção preventiva condicionada [2],[4].

Depois deste enquadramento evolutivo da indústria, é possível enumerar alguns objetivos gerais da manutenção [5],[6]:

- Manter equipamentos e máquinas em condições de bom funcionamento;
- Reparar os equipamentos repondo-lhe as funcionalidades;
- Prevenir falhas antecipadamente;
- Garantir a produção normal;
- Garantir a qualidade dos produtos;
- Aumentar o tempo de vida das máquinas;

## 2.1 Tipos de manutenção

A *Figura 2.2* vem evidenciar os tipos de manutenção, de uma forma sucinta, onde se podem distinguir dois grandes grupos: a corretiva e a preventiva. Também se podem observar as subdivisões possíveis dentro destes grupos.



*Figura 2.2 - Esquema dos tipos de manutenção [6].*

### 2.1.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva destaca-se por ser a forma mais óbvia e primitiva que se conhece de manutenção. É realizada aquando da ocorrência inesperada de uma falha num equipamento, sendo um tipo de avaria que leva à cessação das funções desse mesmo equipamento. Este tipo de manutenção visa restaurar da forma mais rápida possível as funções do equipamento [6], [7].

As suas desvantagens são:

- Baixa utilização dos equipamentos;
- Ocorrência inesperada da falha, prejudicando a produção;
- Alto custo;
- Risco de indisponibilidade imediata de pessoal e peças;

Apesar das várias desvantagens que apresenta, este tipo de manutenção torna-se difícil de ser totalmente suprimido, por mais prevenção que exista. Todos os componentes de desgaste, por uma razão ou por outra, acabam por necessitar de ser substituídos. Também a existência de falhas na própria manufatura dos componentes, de carácter imprevisível, solicita este tipo de manutenção corretiva aquando da ocorrência da sua falha inesperada

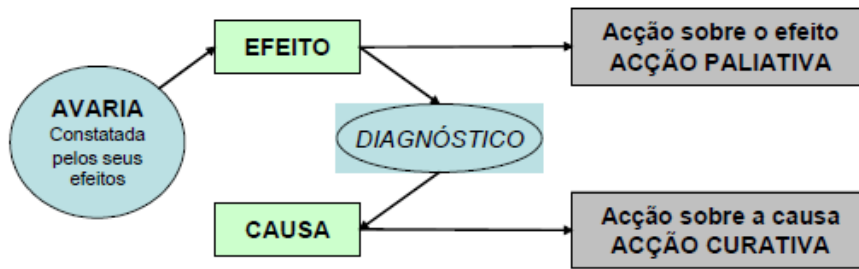
#### **Manutenção Corretiva Curativa**

➤ Podem-se caracterizar as ações curativas como ações de carácter definitivo, que têm por finalidade atuar na causa do problema, a fim de repor a completa integridade funcional do equipamento [6].

#### **Manutenção Corretiva Paliativa**

➤ Podem-se caracterizar as ações paliativas como ações de carácter provisório, que têm por finalidade atuar no efeito do problema, a fim de apenas colocar o equipamento em funcionamento, deixando programada a ação curativa [6].

Na *Figura 2.3* torna-se mais evidente a distinção entre as duas ações e a forma de atuação correspondente a cada uma.



**Exemplo:**

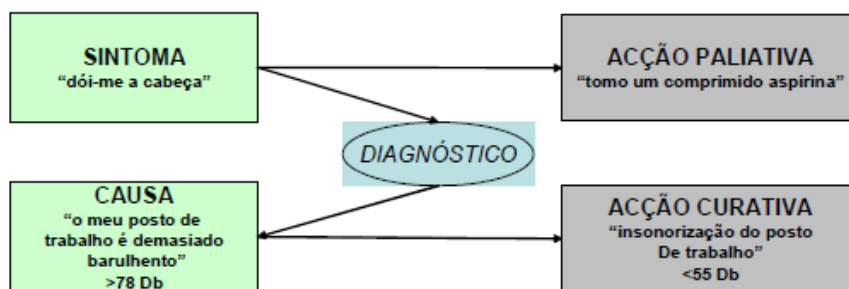


Figura 2.3 - Ação paliativa e curativa numa avaria [6].

## 2.1.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva visa a antecipação à possibilidade de uma avaria num equipamento, bem como a regularização do seu rendimento; como consequência, a cadeia produtiva não fica comprometida.

Esta manutenção compromete-se com a verificação periódica e calendarizada dos equipamentos, determinada por meios estatísticos através de dados e registos, em parte provenientes de manutenções corretivas anteriores. No entanto a base das ações preventivas está também associada ao estado do equipamento, ao local da instalação e a condições indicadas por fabricantes (quando lubrificar, trocar, ajustar, etc.) [5],[6],[7].

A partir das ações preventivas, algumas vantagens podem ser previsíveis [8] tais como:

- Equilíbrio de utilização dos recursos humanos devido ao planeamento das ações preventivas.

- Redução de componentes armazenados, pois a sua necessidade passa a ser prevista.
- Satisfação dos clientes, devido a garantia dos prazos das encomendas.
- Confiabilidade de prazos no sistema produtivo, devido ao controlo do bom funcionamento dos equipamentos.

### Manutenção Preventiva Sistemática:

➤ Está associada a um carácter constante das ações *como evidenciado na Figura 2.4*, ou seja, relaciona-se com critérios cíclicos de manutenção para a realização de lubrificação, reparações e trocas de componentes ao final de determinado tempo, de um certo número de peças produzidas, do número de ciclos efetuados pelo equipamento, etc. Baseia-se no conhecimento da lei de degradação do equipamento [6].

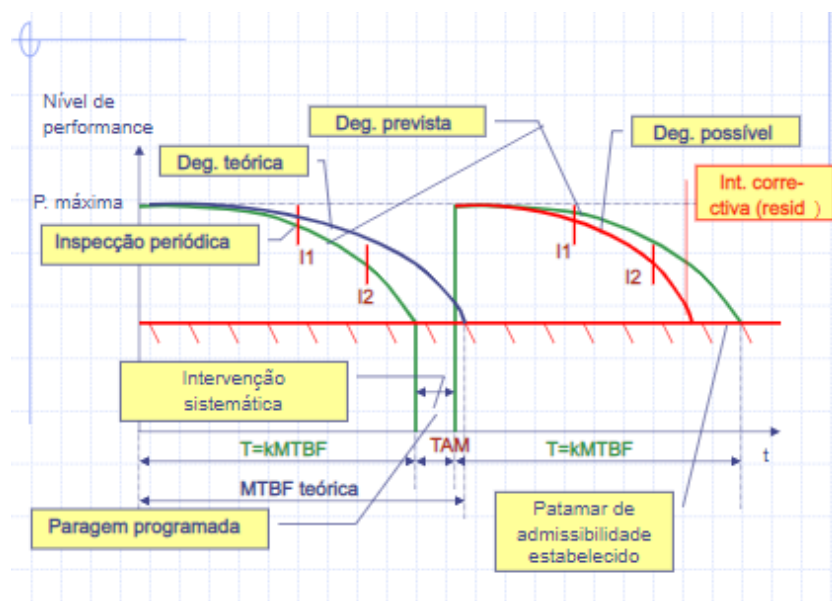


Figura 2.4 - Funcionamento da manutenção preventiva sistemática [8].

### Manutenção Preventiva Condicionada:

➤ Como o próprio nome indica, está sujeita a uma condição aceitável de funcionamento; quando essa condição ou patamar de exigência não é aceitável, *Figura 2.5*, é determinada a melhor fase para uma intervenção no equipamento. Esta manutenção também pode ser designada preditiva, e



o seu foco principal é obter informações provenientes de análises de vibrações e de lubrificantes, termografia, ultrassons, etc. [6].

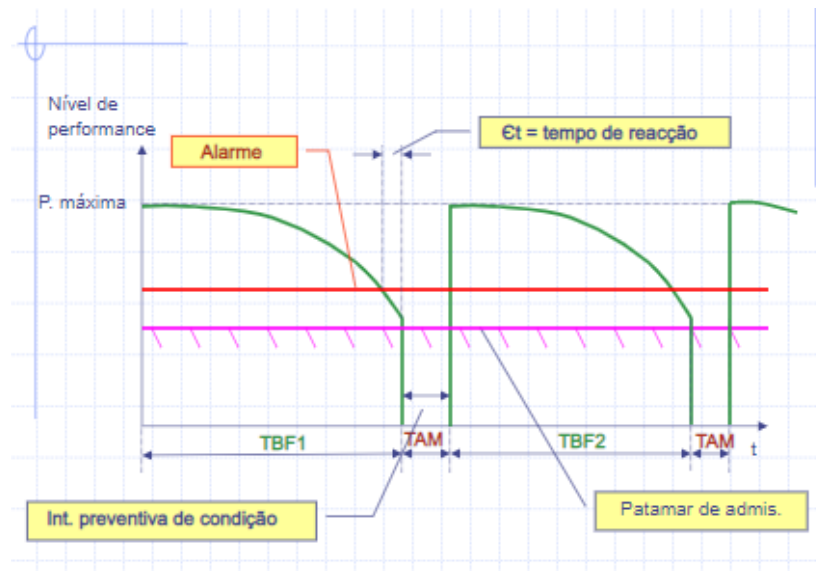


Figura 2.5 - Princípio de funcionamento da manutenção preventiva condicionada [8].

## 2.2. Recondicionamento

O recondicionamento, por vezes apelidado de *retrofit* não é nada mais de que uma modernização de um equipamento, que por inevitabilidade temporal deixou de ser um recurso viável para uma empresa. Pode acontecer pelo simples fato da tecnologia que compõe um equipamento CNC se ter tornado obsoleta [9],[10].

Para que se possa entender melhor como ocorre a obsolescência é necessário perceber primeiramente o que é o “CNC”. A sigla CNC significa comando numérico computadorizado, tratando principalmente, mas não exclusivamente, o comando de máquinas-ferramentas auxiliado por computador.

O cofundador da *Intel Corporation*, *Gordon Moore*, escreveu um artigo para a revista *Electronic Magazine* em 1965, onde previa que o número de transistores de um processador dobraria a cada dois anos, pelo mesmo custo, como mostra a *Figura 2.6*. Assim ao longo dos tempos a previsão de Moore foi sendo vista como uma meta a ser alcançada pelas indústrias de semicondutores; tendo-se verificado esta previsão, acabou por ser chamada Lei de Moore [11].

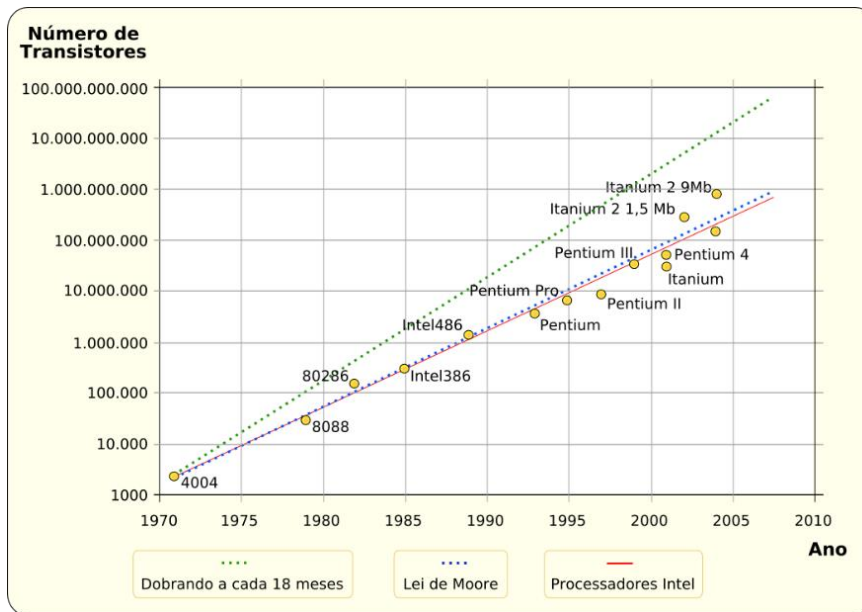


Figura 2.6 - Lei de Moore (24 meses) vs previsão 18 meses vs processadores Intel [12].

Com o passar dos tempos, a previsão de *Moore* tornou-se uma realidade, pelo que o crescimento da capacidade de processamento tem vindo a seguir uma tendência exponencial.

A evolução constante dos processadores, a parte constituinte mais importante de um computador, acaba por ter implicações nas máquinas-ferramentas CNC na medida em que os computadores que as equipam rapidamente se tornam obsoletos. A capacidade competitiva de uma empresa fica comprometida se não acompanhar este desenvolvimento computacional, e a requalificação surge como uma resposta a este problema [13].

A requalificação em máquinas-ferramentas CNC, muitas vezes, passa apenas pela atualização do sistema de controlo e do acionamento da máquina, tornando-os mais confiáveis. No entanto devido aos ambientes industriais mais agressivos, ou pelo simples fato do equipamento ter estado parado por muito tempo, podem ser necessárias pequenas intervenções ao nível da componente mecânica e estrutural como se pode observar na *Figura 2.7* [9],[10].



*Figura 2.7 - Requalificação de torno CNC Gurutzpe, antes e depois [14].*

Contudo, justificar o processo de requalificação pode ser simples: a sua principal premissa é garantir que o seu valor seja inferior à aquisição de um equipamento novo. O estado em que a máquina e os seus subsistemas se encontram também tem um papel importante na determinação do orçamento final; deve ser tido em conta quais os componentes a ser substituídos e quais devem ser mantidos [10],[15].

No entanto outras considerações devem ser analisadas, pois de certa forma contribuem para a validação da requalificação tais como [10],[15]:

- Avaliação do processo produtivo, definindo a produtividade e precisão desejadas;
- Especificação de novos componentes (fusos, guias, motores, CNC);
- Necessidade de transporte do equipamento para realização de retificações mecânicas;
- Desmontagem do equipamento e adaptação para receber novos acessórios;
- Montagem segundo as novas especificações;
- Realização de testes;
- Treinamento dos operadores, e orientação quanto a manutenção;

As vantagens deste processo são muitas devido em grande parte à atualização do sistema de comando. No entanto, será de realçar que os benefícios poderão ser maiores no caso de a atualização ser também ao nível da parte operativa, como por exemplo os motores ou outro tipo de acionadores. Assim, uma boa estratégia do processo de requalificação, poderá ter como consequências [9],[10]:

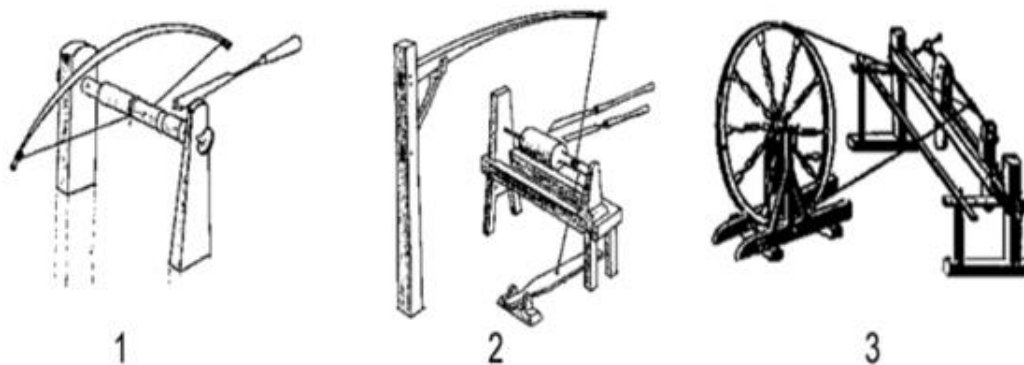
- Custos mais baixos relativamente à aquisição de um novo equipamento com características idênticas;
- Aumento da produtividade resultante de:
  - melhorias ao nível dos recursos de programação;

- melhoria do tempo decorrido entre falhas e reparações;
  - Introdução ou melhoria de comunicações em rede;
- Poupança e diminuição do consumo energético;
- Acessibilidade a peças de reposição por mais tempo;
- Possibilidade de instalação de *software* e *hardware* de arquitetura aberta permitindo a utilização de produtos/equipamentos de outras marcas;

### 3. Máquina Ferramenta e o CNC

Desde o início da humanidade que o ser humano procurou realizar as suas tarefas da forma mais cómoda e prática possível. À medida que novos conhecimentos tecnológicos e dos materiais eram adquiridos, os utensílios foram ganhando maior complexidade tornando-se em máquinas.

A máquina ferramenta tal como é conhecida atualmente, necessitou primeiramente que grandes evoluções ocorressem ao nível da indústria. Julga-se que o torno tenha sido o grande precursor; a *Figura 3.1*, representa a evolução conhecida ao longo dos tempos do torno [16],[17].



*Figura 3.1 - Primeiros tornos: (1) Torno de arco no antigo império romano, (2) Torno de vara usado na idade média, (3) Torno de fuso usado a partir de 1600 [16].*

Inicialmente os primeiros tornos possuíam um movimento intermitente, sendo apenas possível realizar o trabalho de torneamento em um dos sentidos. Posteriormente acoplou-se uma polia enorme, sendo capaz de garantir um movimento contínuo de rotação, mas existia a necessidade de ter dois operadores: um proporcionava o acionamento do torno através de uma manivela solidária com a polia, e o outro realizava as operações de torneamento manuais [16].

A necessidade de ter dois operadores à realização das operações de torneamento, bem como o acionamento manual, foi modificada pela introdução da linha de eixo. A linha de eixo, *como mostra a Figura 3.2*, era colocada junto ao teto da fábrica. Várias polias estavam montadas sobre este eixo, que permitiam fazer o acionamento dos vários equipamentos por meio de correias planas transmitindo binário e movimento [16],[17].



*Figura 3.2 - Eixo de linha [18].*

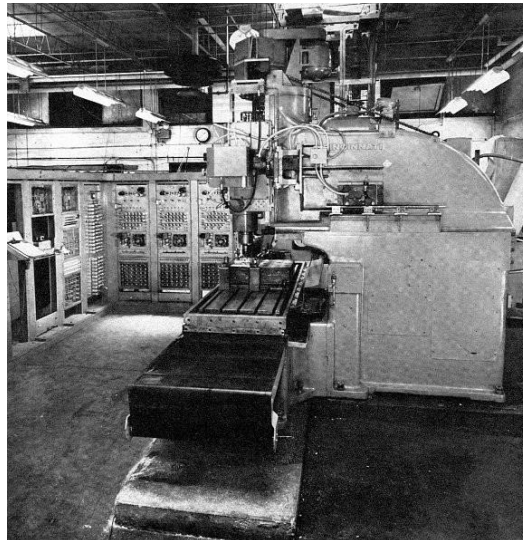
Este eixo era inicialmente acionado pela força hidráulica, que acabou por ser substituída mais tarde, como mostra a *Figura 3.3*, pela máquina a vapor de *James Watt*. A máquina a vapor mantinha todos os equipamentos associados a uma linha de eixo em funcionamento de uma forma constante. A existência da linha de eixo, ainda obrigava a uma disposição fixa dos equipamentos, não permitindo dispô-los de forma a rendibilizar o espaço fabril. Esta limitação só foi superada com a invenção do motor elétrico, que possibilitou o acoplamento direto da unidade de potência à estrutura do equipamento [16],[17].



*Figura 3.3 - Máquina a vapor acionando o eixo de linha [19].*

Estas evoluções industriais foram muito importantes para que o conceito de máquina ferramenta tal como se conhece hoje pudesse ser alcançado. Contudo as capacidades destes equipamentos foram postas à prova, no dealbar da segunda guerra mundial. A guerra exigiu muito da indústria e consumia

todos os recursos disponíveis de uma forma desenfreada, o que obrigou a pensar numa forma de aumentar o ritmo produtivo dando também resposta à necessidade de uma maior precisão dos produtos bem como da sua complexidade imposta pela sofisticação dos meios mecânicos postos ao serviço da guerra, em particular pelo uso intensivo de aeronaves, que solicitavam peças de reposição e colocavam questões de intermutabilidade de difícil cumprimento. Estas questões impuseram tornar o controlo das máquinas ferramentas menos dependente de mão de obra especializada, escassa em tempo de guerra. Foi assim que, depois de reunidos todos os objetivos a cumprir, surge a primeira máquina comandada numericamente no laboratório de servomecanismos do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). A máquina ferramenta em questão era uma fresadora de três eixos, que a *Figura 3.4 mostra*. As típicas alavancas de movimentação dos eixos foram substituídas por servomotores, controlados numericamente por um leitor de fita de papel perfurado [20].



*Figura 3.4 - Fresadora NC de 3 eixos do MIT, Cincinnati, Hydro-Tel [21].*

Porém, por ser uma tecnologia inovadora e conseqüentemente dispendiosa, levou inicialmente a uma exclusividade da sua utilização na indústria aeronáutica. Com o passar dos anos a tecnologia do NC (controlo numérico), foi sendo cada vez mais apreciada acabando por se difundir na indústria da manufatura em geral, devido ao crescente número de fabricantes deste tipo de equipamentos. No entanto, o crescente número de fabricantes levou a que cada máquina possuísse uma linguagem de programação própria, acabando por levar as empresas a criar equipas especializadas, elevando assim os custos de produção. Foi sentida a necessidade de padronizar a linguagem de programação, e em 1956 o MIT, resolve esse problema com a criação da APT (*Automatically Programmed Tools*) [20],[21],[22].

Com a evolução dos computadores e da eletrónica foi possível introduzir o controlo numérico computadorizado ou CNC. Este veio garantir uma maior flexibilidade do sistema produtivo, uma maior precisão e mais versatilidade. O controlo da máquina ferramenta deixa de ser executado por *hardware* (leitor de fita perfurada) e passa a ser controlado por *software*. É de realçar que nesta altura o CNC é acompanhado pelo desenvolvimento de software CAD (*Computer Aided Design*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*) possibilitando a criação de modelos 2D e 3D que posteriormente serviam de base à criação de estratégias de maquinaria [21].

Para salientar as principais diferenças entre o NC e o CNC foi adicionada a *Tabela 3.1*.

*Tabela 3.1 - Comparação das características do NC com o CNC [23].*

<b>BASE PARA COMPARAÇÃO</b>	<b>NC</b>	<b>CNC</b>
<b>Mecanismo de entrada</b>	Fitas perfuradas e cartões perfurados	O programa é alimentado com a ajuda do teclado
<b>Modificação nos programas da máquina</b>	Feito alterando as informações dos cartões perfurados.	Pode ser feito usando um computador
<b>Alteração nos parâmetros de operação</b>	Não é possível	Possivelmente pode ser alterado
<b>Memória para armazenar instruções</b>	Não disponível	O armazenamento de memória está presente no computador
<b>Custo</b>	Menos caro	Muito caro
<b>Manutenção requerida</b>	Baixo	Alto
<b>Precisão</b>	NC é moderadamente preciso	Extremamente preciso
<b>Operadores</b>	Deve ser altamente qualificado	Não são necessárias muitas habilidades
<b>Flexibilidade</b>	Menos	Mais
<b>Consumo de tempo</b>	Requer mais tempo	Precisa de menos tempo

### 3.1. Componentes de um Sistema CNC



O processo de maquinagem de uma peça, de um ponto de vista simplista, inicia-se pela criação de um programa que baseado num sistema de coordenadas cartesianas, define os movimentos dos elementos da máquina no espaço. O programa, escrito numa linguagem normalmente conhecida como código G, trata-se de um conjunto de linhas de código sequenciais que permite ao controlador posicionar os eixos e controlar funções auxiliares do equipamento.

Contudo, para que esse controlo seja possível, um sistema CNC é constituído por três unidades fundamentais:

- MMI (Man-Machine Interface), a interface com o operador,
- NCK (Numerical Control Kernel) o núcleo central de controlo,
- PLC (Programmable Logic Control), o dispositivo de controlo programável.

## **MMI**

A interface homem-máquina, como o próprio nome indica, permite que operador e máquina comuniquem entre si. Normalmente é composta por um ecrã que possibilita ao operador visualizar o estado da máquina, a posição dos eixos ou o programa peça, entre outras opções. A presença de teclado e de vários botões permite a execução de comandos de operação da máquina, bem como a edição e introdução de programas peça. Possui também portas para comunicação eletrónica, que possibilitam a extração ou introdução de programas peça e configurações, a partir de um computador externo ou por meio de outro dispositivo [24].

## **NCK**

O núcleo de comando numérico é a unidade principal de um sistema CNC, pois permite que o programa peça resulte numa combinação de ações que possibilitam a obtenção da peça maquinada através do controlo do sistema servo. Utiliza um intérprete, que faz a interpretação do código G, sendo posteriormente os dados guardados na memória do sistema. A partir deste momento, e dependendo da complexidade da peça, são realizadas interpolações que permitem calcular a posição e a velocidade de cada eixo que servirão de base ao controlador de aceleração/desaceleração. Os dados provenientes do controlador de aceleração/desaceleração chegam ao controlador de posição (normalmente um controlador PID) que através dos sinais do codificador verifica o erro, entre o valor da posição obtido e o desejável por forma a determinar os reajustes necessários [24].

## PLC

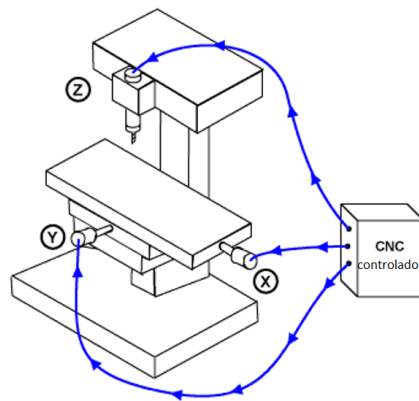
O uso do PLC compreende a necessidade de controlar, o comportamento do equipamento CNC e suas funções auxiliares, excetuando o servo controlo. Assim as suas funções prendem-se ao controlo sequencial de mudança de ferramenta, mudança de paletes de peças, bem como o processamento dos sinais oriundos de sensores por forma a garantir o funcionamento lógico do equipamento [24].

### 3.2. Ciclo de Controlo

Um equipamento CNC apoia-se em ciclos de controlo como forma de garantir que o valor pretendido, tanto da velocidade como da posição, sejam conseguidos.

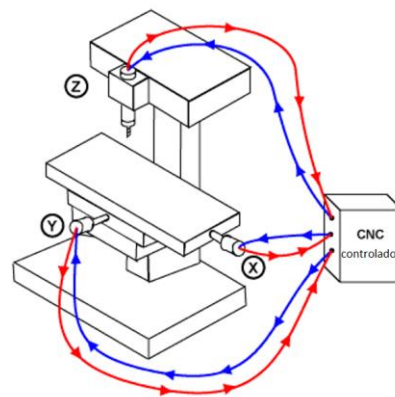
A *Figura 3.5* representa o funcionamento de um ciclo de controlo em malha aberta, onde o controlador, mediante a receção de instruções de comando envia sinais elétricos aos amplificadores sendo estes responsáveis pelo acionamento dos motores.

Neste tipo de ciclo não existe qualquer mecanismo de *feedback* que permita ao controlador aferir se a velocidade/posição desejadas foram alcançadas. Geralmente existe apenas uma calibração do sistema, ou seja, o controlador é configurado de forma a que um sinal de entrada corresponda a um respetivo sinal de saída. Assim o sistema fica à merce de eventuais perturbações externas que possam ocorrer durante o seu funcionamento [24], [25].



*Figura 3.5 - Representação de um ciclo de controlo em malha aberta [26].*

Um ciclo de controlo em malha fechada, *Figura 3.6*, é caracterizado pela utilização de mecanismos de retorno sendo estes responsáveis por informar o controlador da velocidade/posição reais. Desta forma, o envio de sinais de comando pelo controlador aos amplificadores, pode ser corrigido mediante a informação gerada pelos codificadores até que se obtenha um erro mínimo aceitável. Como tal são sistemas menos suscetíveis às perturbações externas, uma vez que existe uma monitorização contante do funcionamento do equipamento [24].



*Figura 3.6 - Representação de um ciclo de controlo em malha fechada [26].*

### 3.3. Codificadores

O codificador é um dispositivo eletromecânico capaz de converter o seu movimento em um conjunto de sinais elétricos capazes de serem compreendidos por um controlador. Sendo necessário o conhecimento da velocidade/posição no controlo de um equipamento CNC, o recurso a codificadores torna-se indispensável. Assim os codificadores [24], [27] podem ser divididos em duas principais categorias:

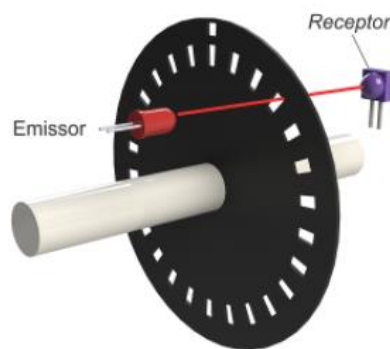
- Linear
- Rotativo

No caso do codificador linear, este mede a variação da posição ao longo de uma linha reta e a sua utilização prende-se a sistemas em que o controlo da posição é o fator de maior interesse. Geralmente são fixados às estruturas móveis de um equipamento, tendo por consequência a medição direta da posição de um componente [27].

Os codificadores rotativos, para além da posição também são capazes de medir a variação da velocidade angular. Por norma encontram-se acoplados ao eixo do servomotor, no entanto em alguns casos, estes podem encontrar-se associados a outros componentes que possuam um movimento de rotação.

Quanto ao tipo de tecnologia um codificador pode ser magnético, mecânico, resistivo ou ótico sendo os óticos os mais utilizados [28].

Um codificador ótico, *Figura 3.7*, é constituído principalmente por uma fonte emissora, normalmente um led, um disco com marcações (no caso dos rotativos), e um foto detetor que funciona como recetor do sinal luminoso. O disco é fixado a um veio, enquanto os restantes componentes são fixados ao corpo do codificador. Desta forma apenas o disco possui movimento de rotação, que através das regiões transparentes, possibilita a receção do feixe de luminoso pelo recetor convertendo os dados óticos em um sinal elétrico [29], [30].



*Figura 3.7 - Componentes de um codificador rotativo Ótico [29].*

Quanto ao tipo de medição de um codificador ótico, esta pode ser incremental ou absoluta. Um codificador incremental tem por base um disco que possui uma ou mais “pistas” constituídas por regiões opacas e transparentes como se pode ver na *Figura 3.8*. O número de regiões transparentes em uma pista, equivalente ao número de regiões opacas, representa o valor da resolução do codificador, normalmente expresso em PPR (Pulsos Por Revolução) [30].



Figura 3.8 – Exemplo de um disco de um codificador ótico incremental [30].

O tipo de sinal produzido por um codificador incremental, também conhecido por codificador de quadratura, corresponde a um sinal de onda quadrada. Este sinal, *Figura 3.9*, é composto por dois canais A e B desfasados  $90^\circ$  graus entre si. Desta forma é possível ao controlador determinar o sentido de rotação do codificador mediante o sinal recebido em primeiro lugar.

Existe por vezes um outro canal designado de canal Z ou Índice, que tem por finalidade estabelecer a posição inicial ou informar o controlador do número de voltas completas executados pelo codificador emitindo apenas um pulso por volta [29], [30].

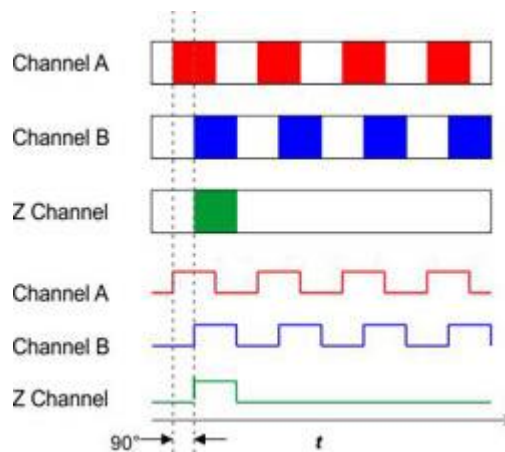


Figura 3.9 – Sinais gerados por um codificador incremental ou de quadratura [30].

Contudo existe por vezes a necessidade de imunizar os sinais gerados pelo codificador, muito em parte devido á utilização de cabos longos na transmissão que acabam por sofrer ruído. Para que tal

não aconteça são adicionados sinais denominados complementares ou diferenciais, como por exemplo  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  e  $\bar{Z}$  [29].

Este tipo de codificador é utilizado quando a posição e a velocidade são as variáveis de destaque, dessa forma o controlador tem de ser capaz de converter a contagem dos pulsos em valores que o utilizador compreenda facilmente. O número de pulsos irá determinar a variação da posição angular ou linear, enquanto que a frequência dos pulsos, irá possibilitar a determinação da velocidade de rotação [24].

O codificador absoluto possui um disco composto por várias pistas concêntricas e distintas, *Figura 3.10*, estando associado a cada uma das pistas um par Led/Recetor. Dessa forma cada pista corresponde a um bit de resolução, ou seja, um codificador padrão com 12 bits possui um disco com 12 pistas, equivalendo a  $2^{12}$  ou 4096 posições por rotação[30].



*Figura 3.10 - Exemplo de um disco de um codificador ótico absoluto [30].*

A cada posição angular do disco um sinal único é gerado na forma de código binário, permitindo ao controlador identificar a posição angular do veio do codificador. Uma vantagem dos codificadores absolutos é que numa situação de eventual falha de energia o controlador continua a saber a posição angular em que o sistema se encontra, uma vez que a cada posição se faz corresponder um único código binário [30].

### 3.4. Motores

Os motores presentes num equipamento CNC desempenham dois papéis principais, sendo um deles o acionamento dos eixos e o outro o acionamento da árvore. Alguns fatores como a velocidade e o binário, possíveis de serem gerados pelo motor, são variáveis determinantes para a validação de um

bom candidato á sua implementação num equipamento CNC. Contudo, outras razões [24] podem ser enumeradas tais como:

1. Relação potência/carga adequadas;
2. Resposta rápida a uma instrução;
3. Boas propriedades de aceleração/desaceleração;
4. Ampla gama de velocidades;
5. Controlo seguro em todas as gamas de velocidades;
6. Funcionamento por longos períodos;
7. Proporcionar ciclos de aceleração/desaceleração frequentes;
8. Elevada resolução de forma a gerar binário suficiente para superar um bloqueio;
9. Movimento de rotação facilitado (baixa inércia) e bastante preciso;
10. Capacidade de gerar binário de paragem adequado;
11. Fiável;
12. Fácil manutenção;

Para que os requisitos anteriormente definidos possam ser cumpridos, os equipamentos CNC são munidos de servomotores. Estes em conjunto com o respetivo servo amplificador,

*Figura 3.11*, permitem o funcionamento em malha fechada, sendo possível controlar o binário, a velocidade ou a posição do servomotor.



Figura 3.11 - Servomotores e servo amplificadores [31].

Ainda relativamente aos servomotores, estes podem ser catalogados em função de três categorias [32], relativas á sua estrutura e funcionamento :

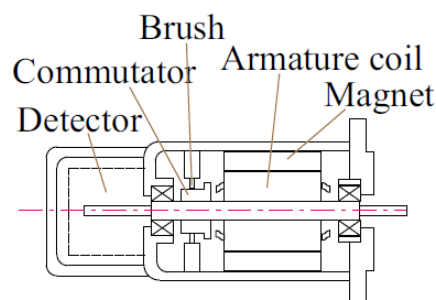
- Tipo de alimentação, Corrente Alternada ou Corrente Continua

- Tipo de comutação, usando escovas (comutação mecânica) ou sem escovas (comutação eletrônica)
- Tipo de movimento do rotor, síncrono ou assíncrono

Os tipos de servomotores utilizados em equipamentos CNC em prol de todas as características anteriormente definidas são o servomotor CC, servomotor CA síncrono e servomotor CA assíncrono ou de indução [24].

## Servomotor CC

O servomotor CC com escovas, *Figura 3.12*, é constituído por uma estrutura cilíndrica, também designada de estator, que permite o acondicionamento do rotor no seu interior e que serve de base ao acoplamento de ímãs permanentes. O rotor por sua vez é constituído por um veio, sendo esse o veio do próprio motor, uma armadura onde se encontram os enrolamentos, e um comutador. O comutador através de escovas permite que a corrente contínua alcance os enrolamentos na armadura possibilitando a geração polos magnéticos. Desta forma a interação entre os polos do estator e de rotor geram um binário no eixo do motor que o faz girar juntamente com o comutador até ao ponto em que o comutador inverte a polaridade garantindo a perpetuação do movimento de rotação [24], [32].



*Figura 3.12 - Construção de um servomotor CC com escovas [24].*

## Servomotor CA síncrono

Como se pode observar pela *Figura 3.13*, um servomotor CA síncrono é composto pelo estator, estrutura tradicionalmente cilíndrica, e pelo núcleo do estator localizado no interior da estrutura onde estão inseridos os enrolamentos de armadura. O rotor por sua vez é composto por ímãs permanentes acoplados ao veio do motor. Devido a estas características construtivas o fornecimento de



corrente ao motor torna-se possível sem a utilização do comutador, sendo a comutação feita de forma eletrônica baseada em sinais de um codificador de forma a determinar a posição do rotor. O fornecimento de corrente alternada trifásica cria um campo magnético rotativo no estator, desta forma os ímãs do rotor, em função da sua polaridade, alinham-se com o campo proporcionando assim o movimento de rotação do rotor de forma síncrona [24], [32].

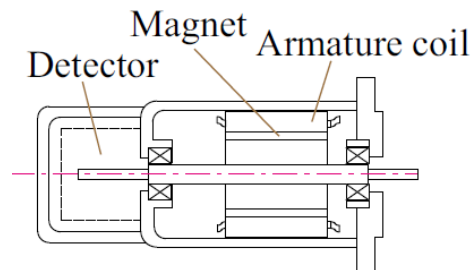


Figura 3.13 - Construção de um servomotor CA síncrono.[24]

### Servomotor CA assíncrono

Os servomotores CA assíncronos, *Figura 3.14*, possuem um funcionamento semelhante aos motores de indução convencionais. A sua estrutura é composta pelo estator e pelo núcleo do estator, onde se encontram os enrolamentos alimentados a corrente alternada trifásica. O rotor por sua vez é composto pelo veio do motor onde é acoplado uma estrutura, designada de núcleo do rotor, construído a partir de um material condutor. Desta forma o campo magnético giratório produzido ao longo dos enrolamentos do estator induz uma força eletromagnética nos condutores do rotor. Contudo a corrente induzida no rotor, que conseqüentemente produz um campo magnético alternado, encontra-se atrasada relativamente ao estator, desta forma a velocidade de rotação do campo magnético do estator é superior à do rotor, daí o nome de servomotores assíncronos [24], [32].

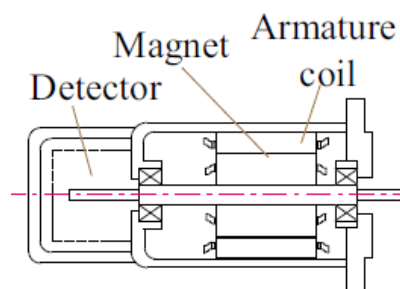


Figura 3.14 - Construção de um servomotor CA assíncrono [24].

### 3.5. Estrutura do Barramento

Ao nível de uma máquina ferramenta CNC pode-se constatar a presença de uma estrutura principal, geralmente destacada por ser de maiores dimensões, onde outras estruturas de menores dimensões são acopladas.

O fato de um equipamento CNC funcionar por longos períodos, acaba por sujeitar o mesmo a uma maior exposição de forças geradas aquando do processo de maquinagem. Assim incorre-se na necessidade de garantir que estrutura principal possua elevada rigidez, bem como boa capacidade de amortecimento de vibrações [33].

Assim, os principais materiais utilizados na estrutura de uma máquina ferramenta CNC são:

- Ferro Fundido
- Betão
- Estruturas Soldadas

#### **Ferro Fundido**

A maioria dos equipamentos CNC tem por base o uso de ferro fundido na sua estrutura principal, uma vez que este possui boa capacidade de amortecimento de vibrações. Permite a obtenção de peças complexas que são impossíveis de ser obtidas a não ser por um processo de fundição [33].

#### **Betão**

A utilização de betão nas estruturas visa a diminuição do custo de fabrico comparativamente ao ferro fundido. Antes do vazamento são adicionadas placas de aço, reforçando assim a estrutura de betão, onde são aparafusadas guias metálicas criando superfícies de contacto para posterior acoplamento dos restantes componentes. Desta forma, e no caso de apresentarem desgaste, torna-se possível a substituição das guias metálicas. Vale a pena realçar ainda a boa capacidade de amortecimento de vibrações bem como a baixa condutividade térmica por parte do betão [33].

## Estruturas Soldadas

Por vezes torna-se difícil e bastante dispendiosa a obtenção de uma estrutura em ferro fundido, e assim o recurso a uma estrutura soldada em aço pode ser a solução.

O apoio numa solução baseada em elementos soldados visa a obtenção de uma estrutura leve que possibilite maior facilidade de distribuição do material. É ainda de realçar, que mesmo depois de pronta a estrutura, existe a qualquer momento a possibilidade de introdução de nervuras como reforço [33].

### 3.6. Guiamento do Movimento Linear

As guias lineares desempenham um papel importante no equipamento CNC onde, mais do que o simples guiamento dos eixos, garantem o posicionamento preciso através de um movimento de translação suave. Assim, a utilização de guias lineares com patins de esferas recirculantes, *Figura 3.15*, surge como a escolha principal em equipamentos CNC na garantia do movimento linear [24], [34].



*Figura 3.15 - Guias lineares e respetivos patins de esferas recirculantes [35].*

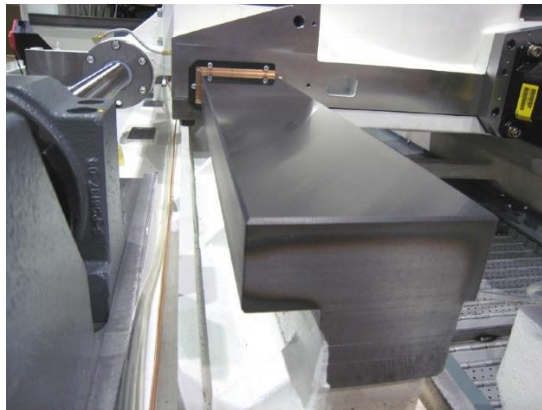
O sistema é composto por uma guia em forma de “M”, que é aparafusada à estrutura do equipamento, e por um par de blocos designados patins de esferas. O contacto entre o patim e a guia realiza-se através de esferas ou rolos, que fazem a sua recirculação no interior do patim. Desta forma torna-se possível a diminuição do atrito comparativamente aos sistemas de guias deslizantes.

Algumas vantagens deste sistema [36], podem ser enumeradas tais como:

1. Alta precisão no posicionamento, devido ao reduzido atrito uma vez que se tem um contato de rolamento.
2. Maior vida útil uma vez que existe uma redução do desgaste causado pelos contatos entre superfícies.
3. Permitem movimentos de alta velocidade por ação de uma pequena força motriz em consequência do baixo atrito.
4. Permitem suportar cargas em todas as direções, devido à sua geometria.
5. Apresentam instalação facilitada, que permite obter movimentos lineares de alta precisão.
6. Apresentam lubrificação facilitada através dos patins.
7. Permitem fácil substituição.

Contudo em equipamentos CNC em que exista a necessidade de executar processos de maquinagem mais pesados, ou seja, em que sejam necessárias forças de corte muito altas, a preferência recai sobre as guias planas (*Box Guide Ways*) [37].

Estes tipos de guias fazem parte da estrutura do equipamento, como se pode observar na *Figura 3.16*, o que as torna de substituição impossível. Outro fator negativo a ter em conta é a existência do fenómeno de "*stick-slip*"; no entanto por forma a minimizar este fenómeno, as guias podem ser revestidas com *turcite* minimizando o atrito entre as superfícies [37].



*Figura 3.16 - Guias planas (box guide ways) [38].*

Assim algumas vantagens podem ser listadas relativamente ao emprego deste tipo de guias tais como:

1. Capacidade de permitir forças de corte maiores.
2. Maior rigidez devido ao maior contacto entre os componentes.
3. Extensão da vida útil das ferramentas devido à maior capacidade de amortecimento.

4. Maior capacidade de amortecimento, permitindo a realização de operações de maquinagem em materiais mais duros.

### 3.7. Conversão e Transmissão do Movimento

Os servomotores, como já foi referido anteriormente, são responsáveis pelo acionamento dos eixos do equipamento CNC. No entanto para que a transformação do movimento de rotação seja convertida num movimento linear, recorre-se a fusos de esferas recirculantes como se pode observar na *Figura 3.17*. O contato entre o fuso e a porca é realizado através de esferas de aço que, em função de um sistema de recirculação, possibilita a realimentação das esferas em um circuito fechado à medida que a porca avança ao longo do fuso. Uma vez que se utilizam esferas, isso resulta num binário de acionamento muito baixo em virtude da existência de um atrito de rolamento [39].



*Figura 3.17 - Fusos de esferas recirculantes [40].*

Como se pode observar pela *Figura 3.18*, o sistema de recirculação pode ser realizado através de um tubo externo fixado ao corpo da porca, por defletores inseridos no interior da porca, ou por um par de tampas localizadas na parte frontal e traseira da porca.

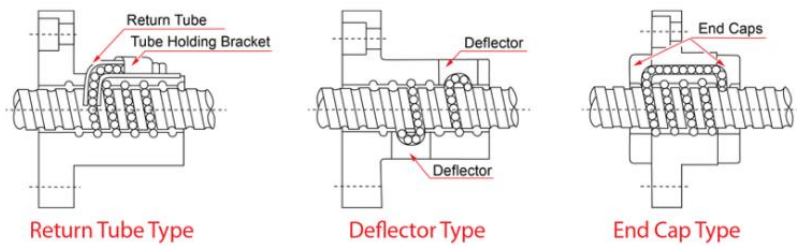


Figura 3.18 - Principais sistemas de recirculação [39].

Uma vantagem ainda a salientar, relativamente à utilização de um sistema de fuso de esferas recirculantes, é a possibilidade de se conferir uma força de pré-carregamento; desta forma é garantida a eliminação da folga de funcionamento, entre o fuso e porca. [24]

Os métodos utilizados podem ser [39]:

- Sistema de porca dupla com espaçador, sendo inserido um anel espaçador entre as duas porcas.
- Sistema de porca dupla com mola, que ao invés de um espaçador utiliza-se uma mola para conferir a força de carregamento.
- Aumento do passo na rosca da porca; este sistema apenas utiliza uma porca que possui um passo maior entre dois circuitos de esferas.
- Aumento do diâmetro das esferas.

Porém para que a ligação entre o servomotor e os fusos de esferas recirculantes seja possível é necessário recorrer a sistemas de transmissão. No caso dos eixos de um equipamento CNC, a transmissão do movimento pode ser realizada através de acoplamento flexível ou por intermédio de correias [24].

Entre o servomotor da árvore e a própria árvore, a ligação pode ser realizada através de correias, ou por intermédio de rodas dentadas quando existe a necessidade de um elevado binário a baixas velocidades de rotação. No entanto em equipamentos de CNC, que operam em processos de maquinagem de alta velocidade, são utilizados acoplamentos flexíveis na união do servomotor com a árvore ou uma árvore com um servomotor no seu interior, ou seja, uma só unidade [24].

## 4. Descrição do Caso de Estudo

O departamento de Engenharia Mecânica tem por objetivo a formação de futuros engenheiros, conferindo-lhes capacidades e valências necessárias a uma integração sólida no meio industrial.

Neste departamento encontram-se as Oficinas de Formação e Apoio onde é possível a realização de diversas atividades ligadas principalmente a processos de manufatura. Ainda nas oficinas, é possível distinguir uma subdivisão destas em vários laboratórios com finalidades específicas, sendo o laboratório de CNC o local onde se desenvolveu o trabalho descrito ao longo desta dissertação.

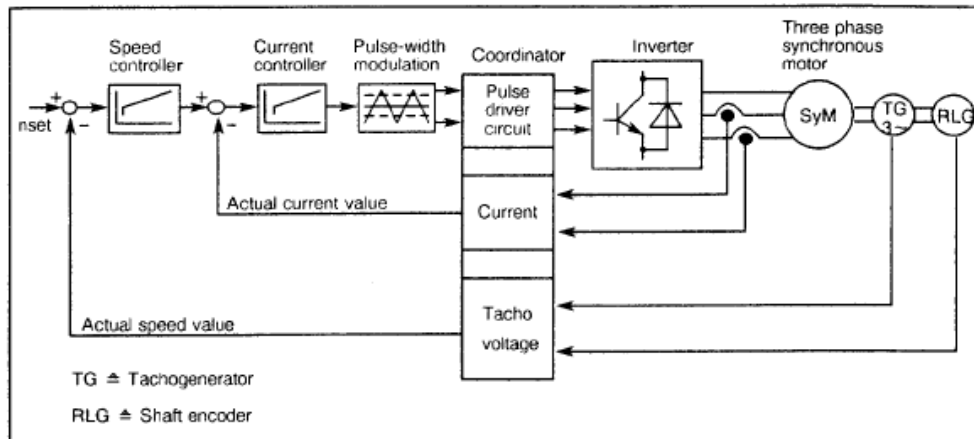
O caminho adotado, na tentativa de requalificação do equipamento CNC, foi baseado no somatório das propostas de trabalhos futuros de outras dissertações, sugerindo uma intervenção de manutenção mais profunda ao equipamento pelo fato de se encontrar em más condições de funcionamento e limpeza. Assim, e situando-se a intervenção requerida no domínio da engenharia mecânica, estavam reunidas as condições adequadas para o seguimento do trabalho realizado nesta dissertação.

Outro aspeto importante que deve ser referido, consistia na falta de documentação técnica dos vários componentes mecânicos, não existindo desenhos técnicos que permitissem, no caso de uma avaria mecânica, a determinação da falha ou os seus possíveis motivos. Assim, parte do plano de trabalho consistiu na compilação de um registo fotográfico do processo de montagem do equipamento CNC após a sua limpeza e lubrificação.

### 4.1. Caracterização do Equipamento

O equipamento CNC em questão é um Centro de Maquinagem (CM) horizontal *Swissperfo* "Type CU 200 H", de quatro eixos, apresentado na *Figura 4.1*. Possui eixos X, Y e Z referentes aos movimentos lineares e um eixo B referente ao movimento de rotação da mesa de trabalho em relação ao eixo Y. As instruções de comando são executadas através de um controlador *SINUMERIK 820 M*, composto pelo NCK e pela MMI. A função destes elementos prende-se à receção dos sinais do codificador incremental, bem como dos sinais dos sensores instalados no centro de maquinagem, através do PLC, sendo possível ao controlador determinar todas as ações em execução. Uma outra função, e a mais importante de todas, é o envio de sinais de comando analógicos ( $\pm 10$  V) ao servo amplificador, sendo estes sinais os responsáveis pelo acionamento dos motores.

Este servo amplificador é um SIMODRIVE 610, cujo diagrama de blocos está representado na *Figura 4.1*.



*Figura 4.1 - Diagrama de blocos do SIMODRIVE 610 [41].*

As instruções de comando enviadas ao SIMODRIVE 610 têm por objetivo estabelecer o valor de referência da velocidade. Para a verificação da velocidade pretendida um tacogerador, situado no próprio motor, fornece um sinal analógico ao SIMODRIVE 610, que em função da amplitude desse sinal irá determinar se existe necessidade de um reajuste na alimentação do motor.

Este centro de maquinagem ainda dispõe de dispositivos auxiliares de operação do processo, nomeadamente dois “robôs”, que possibilitam a troca de paletes. Estas paletes apresentam duas funções bem distintas:

- Servir de mesa de trabalho, garantindo a fixação do material a ser maquinado.
- Servir de base à fixação de um carregador tipo “*rack*” de até oito ferramentas.

Estes robôs são capazes de acomodar duas paletes cada, e para diferenciar ambos, na *Figura 4.2* realizou-se a atribuição de uma designação para ser mais fácil a sua identificação. Entenda-se “Robô F” como sendo o robô responsável pela troca de paletes de ferramentas, e “Robô P”, como o robô responsável pela troca de paletes de material a maquinar/peças maquinadas.





Figura 4.2 – Centro de maquinagem horizontal Swissperfo “Type CU 200 H”.

A árvore do centro de maquinagem ainda dispõe de um dispositivo automático de troca de ferramentas (ATC), *Figura 4.3*. O acionamento, idêntico a um cilindro pneumático de simples efeito, permite uma troca rápida das ferramentas de corte, contribuindo para redução do ciclo de maquinagem uma vez que o operador não intervém neste processo.

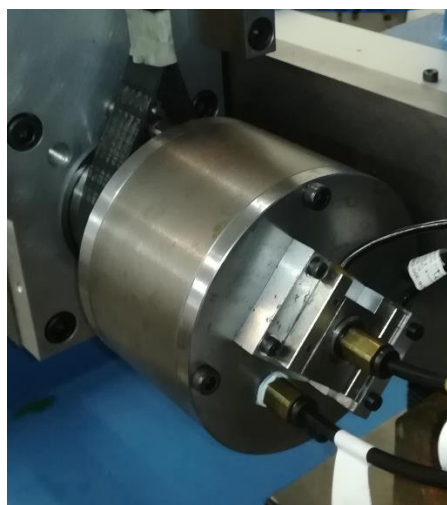


Figura 4.3 - Trocador automático de ferramentas do centro de maquinagem (ATC).

Para que seja possível essa troca automática de ferramentas, é necessária a utilização de um cone porta ferramentas idêntico ao da *Figura 4.4*. No entanto a operação de montagem da ferramenta no cone tem de ser realizada previamente, e só posteriormente o operador insere o cone no carregador de ferramentas.



*Figura 4.4 -Carregador de ferramentas tipo "Rack" (à esquerda) e cone porta ferramentas (à direita).*

#### 4.1.1. Estrutura do Centro de Maquinagem

A estrutura deste CM, construída em chapa de aço, tem como principal função acomodar o barramento em ferro fundido. Na *Figura 4.5* podem-se observar três barras de aço maquinadas, que servem de apoio ao barramento, garantindo posteriormente a sua fixação através de ligações aparafusadas. Existem dois furos adicionais, calibrados, por cada uma destas barras. Constituem o sistema de alinhamento por pinos guia, garantido assim o posicionamento correto da barra antes da sua soldadura. Após o processo de soldadura os pinos guias foram removidos, tendo sido colocadas nestes furos tampas de plástico de forma a impedir a passagem de aparas ou fluido de corte.



Figura 4.5 - Estrutura do Centro de Maquinagem, em aço, e localização das ligações aparafusadas do barramento.

Há ainda a salientar o reforço da estrutura com duas barras de aço de perfil tubular. Estas encontram-se soldadas na face inferior da base onde se estão soldadas as três barras de apoio do barramento, e têm por finalidade garantir a integridade da estrutura e suportar o peso do barramento.

#### 4.1.2. Guias Lineares e Patins de Esferas

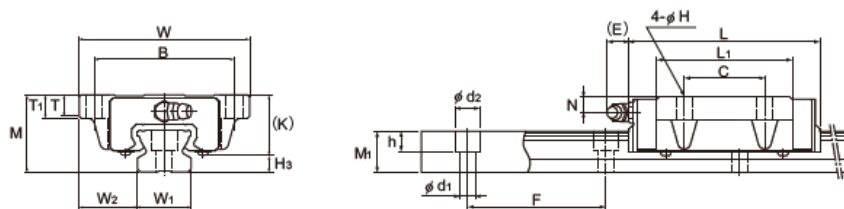
As guias lineares e os patins de esferas, que se mostram na *Figura 4.6*, têm a importante tarefa de garantir o movimento dos eixos de translação, conservando o paralelismo do deslocamento, pois só nestas condições será possível manter a perpendicularidade da ferramenta de corte relativamente à peça. A partir da desmontagem de algumas peças, e da análise dos eixos X, Y e Z, conseguiu-se identificar um total de três pares de guias lineares. Cada par possui um total de quatro patins de esferas, ou seja, dois por cada guia.



Figura 4.6 - Identificação da guia linear e respetivo patim de esferas.

Nos poucos documentos e manuais técnicos correspondentes a este centro de maquinagem não foi possível obter qualquer informação sobre estes componentes. Assim foi então realizado um trabalho de pesquisa tendo por base as poucas inscrições que estes componentes possuíam.

Chegou-se à conclusão de que o conjunto das guias e patins eram produzidos pela **THK**, e através da *Figura 4.7* e *Figura 4.8*, concluiu-se que os patins pertenciam ao modelo **SR 20TB** com a correspondente guia linear **SR 20**.

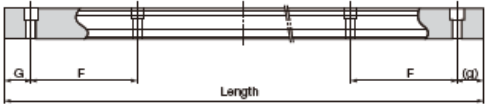


Unit: mm

Model No.	Outer dimensions			LM block dimensions										Grease nipple	H <sub>3</sub>	Basic load rating		Static permissible moment kN-m*					Mass LM block kg
	Height	Width	Length	B	C	H	L <sub>1</sub>	T	T <sub>1</sub>	K	N	E	C			C <sub>0</sub>	M <sub>A</sub>		M <sub>B</sub>		M <sub>C</sub>		
	M	W	L										kN			kN	1 block	Double blocks	1 block	Double blocks	1 block		
SR 15TB	24	52	57	41	26	4.5	39.5	6.1	7	18.2	6	5.5	PB1021B	5.8	13.8	20.5	0.0984	0.551	0.0604	0.343	0.122	0.2	
SR 20TB	28	59	66.2	49	32	5.5	46.7	8	9	22	6	12	B-M6F	6	19.2	28.6	0.167	0.887	0.102	0.55	0.224	0.4	
SR 25TB	33	73	83	60	35	7	59	9.1	10	26	7	12	B-M6F	7	30.9	44.7	0.326	1.74	0.2	1.08	0.408	0.6	
SR 30TB	42	90	96.8	72	40	9	69.3	8.7	10	32.5	8	12	B-M6F	9.5	45.6	64.4	0.564	2.92	0.346	1.8	0.703	1.1	
SR 35TB	48	100	111	82	50	9	79	11.2	13	36.5	8.5	12	B-M6F	11.5	60.4	81.8	0.785	4.27	0.482	2.65	1.08	1.5	

Figura 4.7 - Descrição técnica dos patins SR 20TB, obtida do catálogo da THK [42].

LM rail dimensions(Model SR) Unit: mm



Model No.	LM rail dimensions						Mass	
	Width $W_1$ $\pm 0.05$	$W_2$	Height $M_1$	Pitch $F$	$d_1 \times d_2 \times h$	Length (G,g)		LM rail kg/m
SR 15Y	15	9.5	12.5	60	4.5 X 7.5 X 5.3	3000(20,40)	—	1.2
SR 20	20	11	15.5	60	6 X 9.5 X 8.5	3000(20,40)	4540(20,20)	2.1
SR 25Y	23	12.5	18	60	7 X 11 X 9	3000(20,40)	4540(20,20)	2.7
SR 30	28	16	23	80	7 X 11 X 9	3000(20,20)	4520(20,20)	4.3
SR 35	34	18	27.5	80	9 X 14 X 12	3000(20,20)	4520(20,20)	6.4

Figura 4.8 - Descrição técnica das guias lineares SR 20, obtido catálogo da THK [42].

### 4.1.3. Fusos e Porcas de Esferas Recirculantes

Os fusos de esferas, em conjunto com a porca de esferas recirculantes, são bastante utilizados em equipamentos CNC, sendo responsáveis pela conversão do movimento de rotação num movimento de translação dos eixos principais. Contudo a garantia de um movimento preciso depende muito do rigor dimensional deste conjunto bem como das variáveis de funcionamento exigidas, ou seja, uma boa escolha deve refletir-se num posicionamento dos eixos muito precisa.

O sistema de fuso e porca de esferas deste centro de maquinagem em estudo pode ser observado na *Figura 4.9*. Foi utilizado o mesmo modelo em todos os eixos de translação.

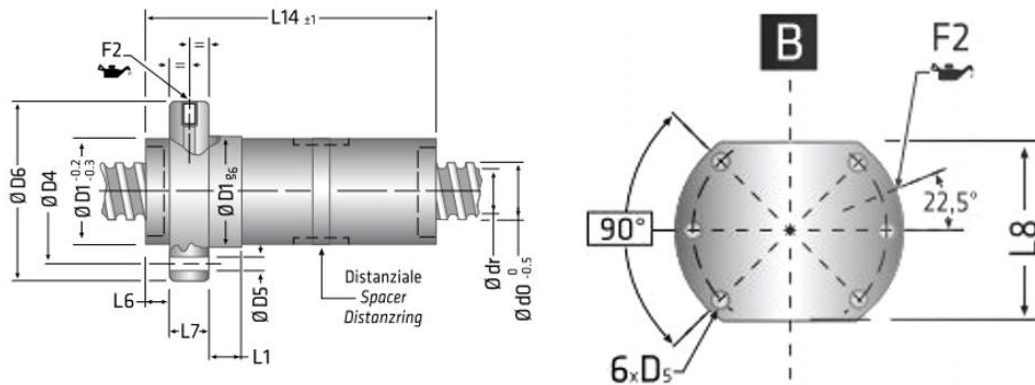


Figura 4.9 - Fuso e respetiva porca de esferas.

Ocorreu o mesmo problema de falta de documentação relativamente às informações técnicas destes componentes, mas, e mais uma vez recorrendo às inscrições no componente, foi possível organizar uma base de pesquisa.

Durante a pesquisa e apesar da pouca informação existente ficou evidente que estes eram fabricados por uma empresa chamada **Alois Kuhn**. Contudo o autor deste documento acredita que essa empresa deixou de existir, pelo menos por esse nome, pertencendo agora a um grupo chamado **UMBRA GROUP** [43].

Assim foi possível identificar no catálogo deste grupo o sistema de fuso e porca de esferas, **Figura 4.10**, como sendo o modelo **S1D20-5M3**.



Codice fisso	Diametro Nominale	Passo	Diametro Sfere	N° giri di sfere	Diametro Fondo gola	Carico Dinamico	Carico Statico	Rigidità																			
Fixed code	Nominal Diameter	Lead	Balls Diameter	Nr. of circuits	Root Diameter	Dynamic Load	Static Load	Stiffness																			
Kodierung	Nenn Durchmesser	Steigung	Kugel Durchmesser	Anzahl der Umläufe	Kern Durchmesser	Dynamische Tragzahl	Statische Tragzahl	Steffigkeit	D1	F1	B	H	L4	L5	L12	F2	D4	D5	D6	L1	L3	L6	L7	L8	L9	L13	L14
	d0 [mm]	[mm]	[mm]		dr [mm]	Ca [kN]	Co [kN]	Rb/t [N/µm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S1D16-10B3	16	10	3.500	3+3	12.6	13.3	21.3	654	32	3	4	1.5	20	13	100	M6	42	5.5	52	10	25	5	10	40	44.0	97	100
S1D16-10B4	16	10	3.500	4+4	12.6	17.4	29.0	879	32	3	4	1.5	25	16	120	M6	42	5.5	52	10	25	5	10	40	44.0	117	120
S1D16-16M2	16	16	2.381	2+2	13.6	5.6	9.8	410	28	2	4	1.5	20	12	97	M6	42	5.5	52	10	25	5	10	40	44.0	105	97
S1D16-16B2	16	16	3.500	2+2	12.6	9.1	14.1	425	32	3	4	1.5	22	13	105	M6	42	5.5	52	10	25	5	10	40	44.0	109	105
S1D20-4M3	20	4	3.175	3+3	16.7	12.9	22.8	747	36	3	4	1.5	12	10	63	M6	47	6.6	58	10	25	5	10	44	51.0	81	71
S1D20-4M4	20	4	3.175	4+4	16.7	16.6	30.3	983	36	3	4	1.5	16	10	73	M6	47	6.6	58	10	25	5	10	44	51.0	91	81
S1D20-4M5	20	4	3.175	5+5	16.7	20.1	37.9	1216	36	3	4	1.5	18	12	83	M6	47	6.6	58	10	25	5	10	44	51.0	101	91
S1D20-5M3	20	5	3.175	3+3	16.7	12.9	22.7	746	36	3	4	1.5	16	10	72	M6	47	6.6	58	10	25	5	10	44	51.0	88	80
S1D20-5M4	20	5	3.175	4+4	16.7	16.5	30.3	981	36	3	4	1.5	18	12	85	M6	47	6.6	58	10	25	5	10	44	51.0	100	93

Figura 4.10 – Características dimensionais do fuso e porca de esferas modelo S1D20-5M3, catálogo UMBRAGROUP [44].

#### 4.1.4. Sistemas de Transmissão

Os sistemas de transmissão do movimento no equipamento garantem, por exemplo, que o movimento de rotação do servomotor acione os fusos de esferas. Assim construiu-se a *Tabela 4.1*, com a pretensão de listar os vários elementos ou conjuntos de transmissão utilizados na máquina.

*Tabela 4.1 – Tipos de transmissões e sua localização.*

<b>Local</b>	<b>Transmissão do movimento</b>
Eixo X	Correia Trapezoidal 187L-075
Eixo Y	Correia Trapezoidal 187L-075
Eixo Z	Correia Trapezoidal 187L-075
Eixo B	Correia Trapezoidal 187L-150; Parafuso Sem Fim
Encoder Eixo B	Correia Trapezoidal (N/A)
Árvore	Correia HTD 475-5M-25
Robôs	Corrente Dupla; Correia em V; HTD 234-3M-09
Cortina de Proteção	Corrente

A razão da utilização destes elementos de transmissão, tem a função de modificar as variáveis do movimento, principalmente no que concerne aos eixos do centro de maquinagem. Associada ao uso de correias, incorre-se na necessidade obrigatória do uso de polias, as quais tornam possível alterar as características de acionamento como se observa na *Figura 4.11*.

Através desta possibilidade consegue-se aumentar ou diminuir:

- O binário de acionamento dos fusos de esferas.
- A velocidade de translação ou de rotação dos eixos.
- A resolução dos sistemas de medição, com conseqüências ao nível da precisão do posicionamento dos eixos.



*Figura 4.11 - Transmissão por correia trapezoidal, eixo Y.*



### 4.1.5. Servomotores

Os equipamentos de CNC servem-se de motores para o acionamento dos vários eixos, e este centro de maquinagem não é exceção. Dispõe de servomotores síncronos de ímanes permanentes, acionados por corrente alternada trifásica, existindo apenas algumas diferenças entre os vários motores.

Numa primeira análise, ficou claro que o fabricante destes servomotores tinha por nome **SIEMENS**; no entanto e aquando da pesquisa exaustiva por folha de dados relativos a estes motores, foi possível identificar o motivo pela qual essa tarefa foi sendo dada como impossível, muito em parte pela informação presente na *Figura 4.12*.



*Figura 4.12 - Ciclo de vida dos servomotores do centro de maquinagem [45].*

Os servomotores que equipam este centro de maquinagem (modelo **1FT5044 – 0AF01 – 1 – Z** e modelo **1FT5062 – 0AK01 – 2**) haviam chegado ao fim do seu ciclo de vida, o que numa eventual avaria pode conduzir à necessidade de substituição por outros modelos. Contudo, e mesmo perante esta situação, conseguiu-se encontrar alguns documentos relativos à descrição física destes motores, bem como a respetiva pinagem dos conetores.

Porém, e através da compreensão das placas de identificação dos motores, *Figura 4.13*, para além de algumas variáveis elétricas, foi possível perceber a existência de outros componentes anexos a estes equipamentos.

Os componentes são:

- Unidade de medição do rotor (dentro do servomotor)
- Termistor PTC (dentro do servomotor)
- Travão de imobilização (dentro do servomotor)
- Codificador incremental (fora do servomotor)



À exceção do codificador incremental, a visualização dos restantes componentes enunciados anteriormente só é possível mediante a desmontagem do servomotor, tarefa que não foi realizada pois no caso da unidade de medição, existiria a necessidade de um realinhamento com recurso a um osciloscópio.

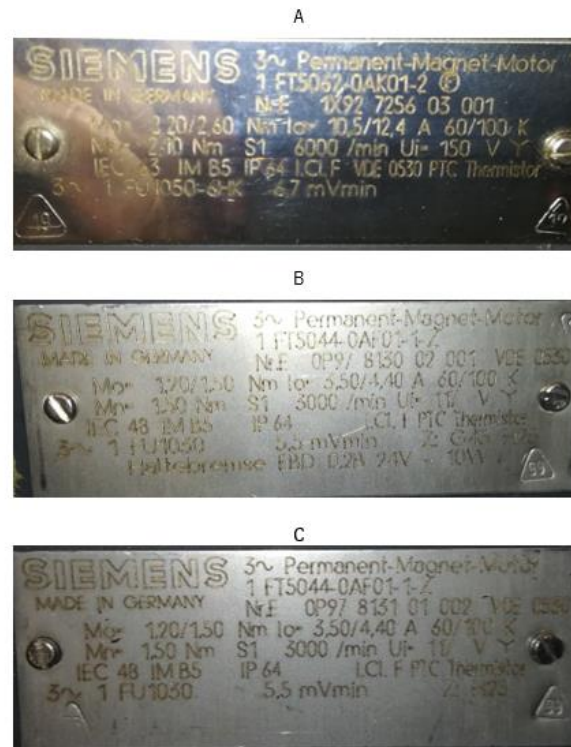


Figura 4.13 - Placas de identificação dos motores, motor da árvore (A), motor do Y (B), motor do X, Z e B (C).

## Unidade de Medição

A unidade de medição destes servomotores, tem por propósito a geração de sinais que permitam aos módulos de controlo do SIMODRIVE 610 saber qual a velocidade de rotação e qual posição do rotor. Para tal são fixados ao veio do servomotor um tacogerador e um codificador de posição.

O tacogerador é um dispositivo que tem por base, uma construção idêntica à de um motor de ímãs permanentes; a única diferença reside na função que desempenha. Ao contrário do motor, cuja função é converter energia elétrica em trabalho mecânico, o tacogerador tira proveito desse trabalho mecânico, e converte-o em energia elétrica.

No caso específico dos servomotores do CM, foi possível através da informação da placa dos motores identificar dois modelos de tacogerador trifásicos: o **1FU1050 – 6HK** no servo motor da

árvore, e o **1FU1030** nos servomotores dos eixos. Os dados técnicos estão apresentados na *Tabela 4.2*. Ainda assim é importante referir que o sinal de saída é composto por três ondas trapezoidais, desfasadas entre si 120° graus, e que a amplitude da onda possibilita a determinação da velocidade de rotação do rotor.

*Tabela 4.2 - Dados técnicos, unidade de medição série 1FU [46].*

Technical data	1FU1030 Shaft heights 36 and 48	1FU1050 Shaft heights 63 to 132
<b>Tipo de Sensor de Posição do Rotor</b>	Hall switch system	Magnetic device
Speed (mech. limiting speed)	8000 RPM	8000 RPM
Peak value, phase voltage at 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 %

O sensor de posição do rotor, acrescentada a sua evidência na *Tabela 4.2* pelo autor desta dissertação, providencia ao módulo de controlo já referido, a posição em que se encontra o rotor. Este sensor é constituído por três sensores Hall (nos motores dos eixos) ou por três dispositivos magnéticos (no motor da árvore) também com sensores Hall na sua constituição.

Este sistema de deteção tem por finalidade gerar três sinais de onda quadrada desfasados 120° graus entre si, que possibilitam ao módulo de controlo, determinar a sequência de alimentação dos enrolamentos do estator do servomotor por parte do módulo de potência. A necessidade do sensor de posição do rotor resulta da construção dos servomotores, uma vez que estes não possuem escovas nem anel comutador. Assim a comutação tem de ser realizada de forma eletrónica.

## **PTC Termistor**

O termistor presente nos servomotores serve para garantir que estes se encontram a uma temperatura de funcionamento adequado. Determinadas situações, como por exemplo as condições ambientes, o esforço do servomotor e eventuais picos de corrente podem conduzir a um drástico aumento da temperatura dos enrolamentos do estator. Como o aumento da temperatura pode levar a

perda do equipamento, é função do termistor monitorizar a temperatura para garantir que isso não aconteça.

O PTC (*Positive Temperature Coefficient*) termistor presente nos servomotores; trata-se do modelo **Q63100 – P426 – M135**. Segundo a folha de dados a temperatura de resposta encontra-se nos  $155^\circ \pm 5^\circ$  graus celsius. O aumento da temperatura faz com que a variação da resistência do termistor varie de forma exponencial como se pode observar pela *Figura 4.14*, sendo de salientar que a resistência deverá apresentar o valor de aproximadamente 1000 ohms à temperatura de resposta de  $155^\circ$  graus celsius.

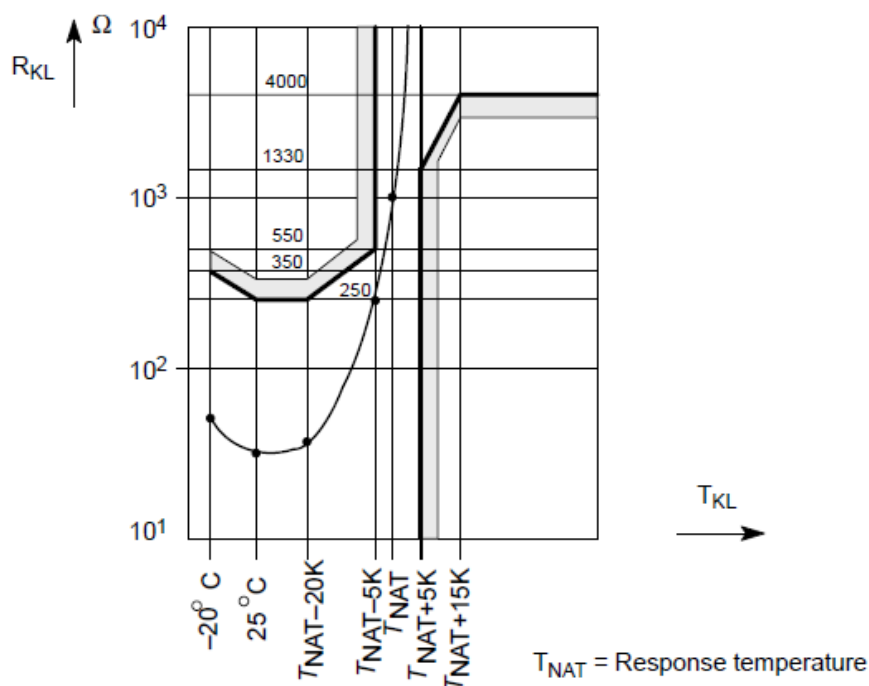


Figura 4.14 – Variação da resistência em função da temperatura do termistor [46].

Os servomotores dos eixos, possuem dois termístores PTC ligados em série, enquanto o servo motor da árvore possui apenas um termistor PTC.

Em determinadas situações de operação dos servomotores, os seus enrolamentos continuam a ser energizados mesmo não estando o motor a “rodar”, ou seja, continua a ser fornecida uma corrente  $I_0$  de forma a garantir um binário  $M_0$  para impedir que o rotor se movimente, garantindo a posição dos eixos do centro de maquinaria. Por vezes esse binário  $M_0$  poderá não ser suficiente, levando à necessidade do aumento da corrente  $I_0$  de que resulta uma sobrecarga do servomotor. Quando isso acontece o termistor PTC também possibilita uma proteção contra sobrecarga até

$4 \times I_{0.60K}$  no caso do servomotor da árvore, e até  $2 \times I_{0.60K}$  para os servomotores dos eixos. No caso de haver, a necessidade de um funcionamento acima dos valores anteriormente referidos, o manual aconselha a utilização de relés térmicos para garantir uma proteção contra sobrecarga.

## Travão de Imobilização

O travão integrado no servomotor do eixo Y, modelo **EBD 0.2B**, tem a importante tarefa de assegurar que o eixo Z não se move quando a alimentação do centro de maquinagem é desligada, ou, numa emergência, em que a energia vá abaixo por qualquer motivo.

Este travão é composto por um íman permanente aparafusado numa flange, que por sua vez está conectada por um pino ao veio do motor, e por um eletroímã conectado à carcaça do servomotor. Na presença de energia, o eletroímã cria um campo magnético com a mesma polaridade do íman permanente, perante isto, o íman permanente afasta-se do eletroímã possibilitando que o veio do servomotor gire livremente. Quando a energia não pode ser assegurada, pelas razões já enunciadas anteriormente, o eletroímã desliga-se permitindo que o íman permanente adira impedindo o movimento de rotação do veio do servomotor.

A alimentação exigida por este sistema é de  $24V \pm 10\%$ , e, na da *Tabela 4.3*, podem-se observar outras características técnicas do travão presente no servomotor Y.

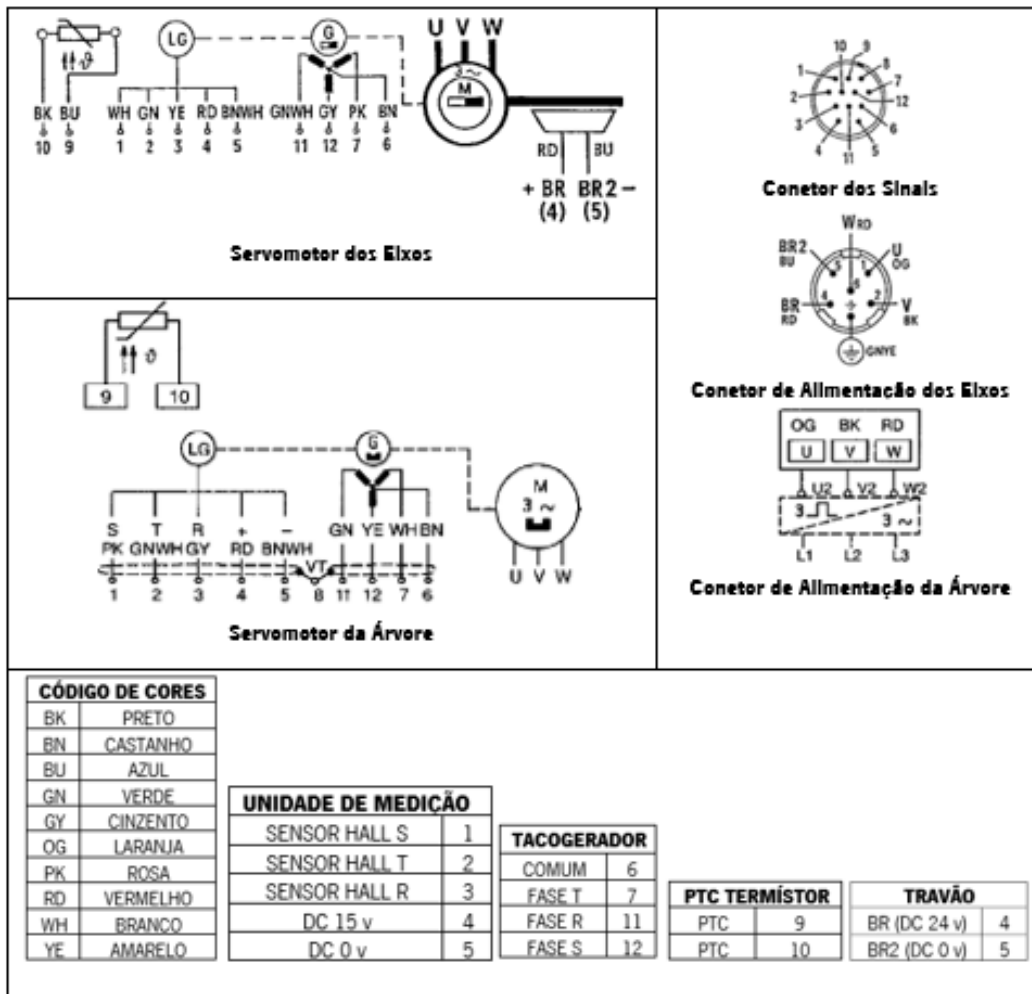
*Tabela 4.3 - Dados técnicos do travão do eixo Y[46].*

Motor type	Brake type	Holding torques $M_h$ <sup>1)</sup> (Nm)		Dyn. torque $M_{im}$ (Nm) 120 °C	DC current (A)	Power drain (W)	Opening time $t_2$ <sup>1)</sup> (ms)	Closing time <sup>1)</sup> (ms)	Moment of inertia ( $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup> )	Highest switching work <sup>2) 4)</sup> (J)
		20 °C	120 °C							
1FT503□	EBD 0.11B	1.2	1.0	0.75	0.3	7.5	20	10	0.07	24
1FT504□	EBD 0.2B	2.0	1.5	1.3	0.6	13	40	20	0.4	122

## Resumo das Ligações dos Servomotores

Por forma a realizar um apanhado geral relativamente às conexões dos servomotores, foi construída a *Tabela 4.4* evidenciando não apenas o tipo de conexões, mas também a respetiva pinagem e código de cores bem como os elementos a que cada conjunto de pinos corresponde.

Tabela 4.4 - Esquema elétrico dos servomotores e sua respectiva conexão e pinagem [47],[48].



## Codificador Incremental

No centro de maquinagem foi possível constatar dois modelos de codificadores: o modelo **ROD 426.016** produzido pela marca **Heidenhain** e afeto aos servomotores dos eixos X, Y e Z, e um codificador produzido pela marca **Leine & Linde** afeto ao eixo B. Ambos são incrementais e diferenciais (com inversão do sinal dos canais principais) e têm por função transmitir um sinal de onda quadrada que permite ao controlador, pela contagem do número de pulsos, exatamente 1500 PPR (Pulsos Por Revolução), determinar a posição linear dos eixos de translação e a posição angular do eixo de rotação *Figura 4.15*. A determinação do sentido de rotação do codificador depende do primeiro pulso emitido pelos sinais A ou B: se um pulso de 5 V for emitido primeiramente pelo canal A e depois pelo canal B, isso significava que a rotação é no sentido horário, se o contrário se verificar, significa que a rotação é no sentido anti-horário.

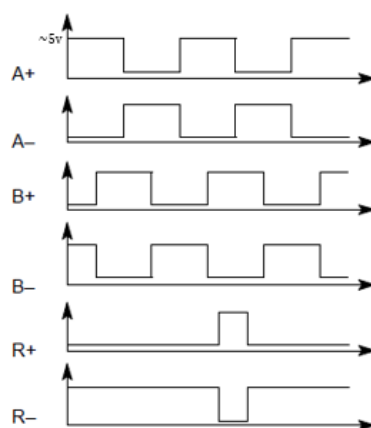


Figura 4.15 - Características do sinal para um sentido de rotação horário [46].

O funcionamento do codificador baseia-se na incidência de um feixe luminoso sobre uma escala graduada de vidro que permite a passagem da luz entre os intervalos da graduação. Desta forma torna-se possível a receção do feixe por foto transistores que em conjunto com outros componentes eletrónicos produzem um sinal de onda quadrada.

O fato do codificador descrito possuir canais invertidos, prende-se com razões de imunidade ao ruído eletromagnético, que em ambientes industriais é muito vulgar e que podem causar erros de leitura por parte do controlador.

Na *Tabela 4.5* constam apenas os dados técnicos relativos ao modelo ROD 426 uma vez que não foi possível encontrar qualquer informação específica sobre o codificador Leine & Linde. Apenas foi possível através de uma etiqueta no corpo deste, saber a sua resolução (1500 PPR) e a alimentação requerida (5 V CC).

Tabela 4.5 - Dados técnicos do encoder ROD 426 [46], [49].

Velocidade Mecânica	Max. 12 000 RPM												
Velocidade Eletrônica	Max. 12 000 RPM												
Alimentação	5v DC $\pm$ 5% $\leq$ 150 mA (sem carga)												
Pulsos por Revolução	1500 PPR (resolução do disco de vidro) Com multiplicações externas (ex. polias) pode chegar até aos 20 000 PPR.												
Tipo de Sinal	RS 422 (TTL)												
Limite de Frequência	0 kHz a 300 kHz												
<b>Conectores e Respetiva Pinagem com Código de Cores.</b>													
	Voltage supply	Incremental signals	Other signals										
	12	2	10	11	5	6	8	1	3	4	9	7	/
	Up	Sensor <sup>11</sup> Up	0V	Sensor <sup>11</sup> 0V	A+	A-	B+	B-	R+	R-	Vacant	Vacant	Vacant
	Brown/ Green	Blue	White/ Green	White	Brown	Green	Gray	Pink	Red	Black	/	Violet	Yellow

#### 4.1.6. Sensores Indutivos

O sensor indutivo tem por função informar o controlador, através do PLC, sobre a posição em que alguns componentes se encontram. A importância dessa informação advém das características do centro de maquinagem, que sendo até determinado ponto um equipamento autónomo, necessita de perceber em que estado do processo se encontra.

Para se compreender melhor qual a função dos sensores indutivos, são apresentadas algumas das suas aplicações no caso de estudo:

- Informar se a cortina de proteção está “levantada” ou “baixada”, sendo apenas possível o início de um programa quando estiver baixada, como forma de proteção do operador.
- Informar os pontos de referência dos eixos.
- Informar se a árvore tem ou não acoplado o porta ferramentas.
- Informar da fixação da paleta na mesa de trabalho.
- Informar se a prateleira de ferramentas está avançada ou recuada.
- Informar ao nível dos robôs a presença de paleta, qual a posição dos dois postos de cada robô e qual o ponto de referência para troca de paletes.

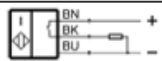
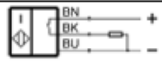
O funcionamento deste tipo de sensores baseia-se na alteração do campo magnético por eles produzido aquando da aproximação de um objeto metálico ferroso. O objeto absorve parte do campo

magnético produzido pela bobine do sensor, fazendo com que o circuito interno do sensor produza um sinal analógico, no caso de 24 V enviando-o ao controlador e assim confirmando a mudança do estado logico associada.

No caso de estudo foi possível identificar três tipos de sensores indutivos fabricados pela marca **BALLUFF**, dois do modelo **BES – 516 – 324 – E4 – C – PU – 05** distintos apenas por um deles possuir um *led* identificador do estado (atuado ou não atuado) e outro não, e outro do modelo **BES – 516 – 300 – S166 – PU – 05**.

Na *Tabela 4.6* estão apresentadas as principais características dos sensores indutivos bem como as respectivas ligações elétricas

*Tabela 4.6 – Principais dados técnicos dos modelos de sensores indutivos e respetivos diagramas elétricos [50], [51].*

BES 516-324-E4-C-PU-05	Tensão de Serviço	24v DC	
	Corrente Operacional	200 mA	
	Saída de Comutação	PNP contato normalmente aberto (NA)	
	Distância de Comutação Nominal	1.5 mm	
	Dimensões	Ø 8 × 30 mm	
			BN – Castanho BK – Preto BU - Azul
BES 516-300-S166-PU-05	Tensão de Serviço	24v DC	
	Corrente Operacional	200 mA	
	Saída de Comutação	PNP contato normalmente aberto (NA)	
	Distância de Comutação Nominal	1.5 mm	
	Dimensões	40 × 8 × 8 mm	
			BN – Castanho BK – Preto BU - Azul



## 5. Desenvolvimento do Trabalho

O presente capítulo visa evidenciar todo o trabalho prático, realizado nas Oficinas de Formação e Apoio (OFA), relativamente ao caso de estudo desta dissertação. Uma vez que já haviam sido realizados alguns trabalhos de requalificação do sistema de controlo, tornou-se necessário determinar e avaliar as condições estruturais do centro de maquinagem.

Como referido anteriormente, o equipamento para além do mau estado de conservação, não possuía qualquer tipo de documentação técnica que facilitasse a compreensão da conjugação entre os vários componentes. Como tal, procedeu-se à desmontagem completa com o intuito de avaliar o estado de conservação dos vários componentes, sendo posteriormente feita a sua limpeza e lubrificação.

Assim, e na fase de montagem de todos os componentes, foi possível criar um registo fotográfico de forma a facilitar a identificação dos vários componentes, sendo possível numa eventual avaria, definir um diagnóstico mais preciso sobre a possível causa do problema.

### 5.1. Desmontagem do Equipamento CNC

A primeira abordagem ao caso de estudo constituiu em desmontar todos os equipamentos auxiliares que se encontravam na periferia do centro de maquinagem, nomeadamente os dois robôs como se pode observar na *Figura 5.1*. Desta forma, e uma vez que o espaço livre do laboratório de CNC era um pouco limitado, devido em parte ao fato de possuir outros equipamentos, foi possível garantir uma maior margem de manobra e mais fácil acesso aos restantes componentes posteriormente.



*Figura 5.1 - Fase de desmontagem dos robôs.*

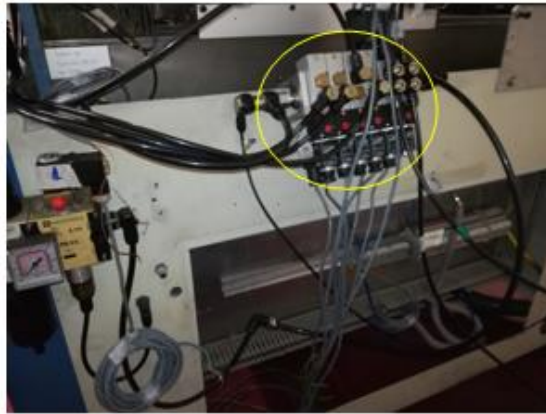
Aquando da desmontagem dos robôs foi necessário aceder ao painel eléctrico do centro de maquinagem, localizado na sua parte traseira, *Figura 5.2*, desconectando-se os cabos de alimentação e dos sensores. Com todas as ligações desconectadas foi então possível desmontar a estrutura tipo “caixa” onde são fixados os robôs como observado na *Figura 5.1*.

Para além das ligações dos robôs todas as restantes ligações foram desconectadas e etiquetadas para que na fase de montagem não suscitassem dúvidas quanto à localização das ligações.



*Figura 5.2 - Desconexão de todas as ligações do bloco de terminais eléctricos do centro de maquinagem, (a) antes de desconectar e (b) depois de desconectar.*

Em seguida procedeu-se à remoção do bloco de electroválvulas do painel eléctrico, que se apresenta na *Figura 5.3*. Utilizando uma fonte de alimentação, procedeu-se à energização (24 V CC) das solenóides de forma a identificar os componentes atuados. Após a identificação da função de cada válvula, foram etiquetadas todas as ligações das mangueiras pneumáticas com a indicação da respectiva electroválvula a que devem ser ligadas.



*Figura 5.3 - Remoção do bloco de electroválvulas.*

A partir desse momento iniciou-se o processo de desmontagem tendo-se começado pela árvore e pelo eixo Z, tendo o cuidado de antes dessa operação, registar estado de conservação e de limpeza do equipamento, como é visível nas *Figura 5.4*, *Figura 5.5* e *Figura 5.6*.



*Figura 5.4 - Estado de conservação da zona lateral direita da máquina.*



*Figura 5.5 - Estado de conservação da zona lateral esquerdo da máquina.*



*Figura 5.6 - Estado de conservação do interior da estrutura do suporte do trocador ferramentas.*

Como se pode verificar pelas várias figuras, o equipamento encontrava-se muito sujo apresentando em alguns pontos sinais visíveis de oxidação. Em equipamentos de CNC a limpeza é um

fator determinante na garantia da sua vida útil e do seu bom funcionamento, impedindo que as aparas se acumulem sem que o operador se aperceba, e permitindo que o fluido de corte possa ser escoado com facilidade.

Foi identificada a presença de aparas e pó de derivados de madeira, nomeadamente MDF, resultante do processo de fabricação de moldes. Estes tipos de detritos são prejudiciais, uma vez que absorvem a humidade e o fluido de corte, originando a oxidação dos metais com que estão em contacto, e contribuem para o desgaste das peças móveis ao se misturarem com óleos ou massas de lubrificação, sendo de extrema importância a sua limpeza e remoção.

Nas *Figura 5.7* e *Figura 5.8* é possível observar o resultado da desmontagem da árvore. Vale a pena realçar que para a conclusão desta tarefa foram utilizados blocos e tábuas de madeira, *Figura 5.9*, de forma a imobilizar o eixo Y (eixo vertical) sem o danificar, para que posteriormente se conseguisse remover em segurança tanto a árvore como o eixo Z, visível na *Figura 5.8* e *Figura 5.10*.



*Figura 5.7 - Árvore do centro de maquinagem.*



*Figura 5.8 - Remoção dos vários componentes da árvore.*



*Figura 5.9 - Eixo Z do centro de maquinagem.*



*Figura 5.10 - Remoção do eixo Z.*

No seguimento do trabalho de desmontagem foi necessário utilizar a grua das OFA presente nas oficinas de forma a facilitar a continuidade do trabalho, atendendo à massa elevada de alguns dos

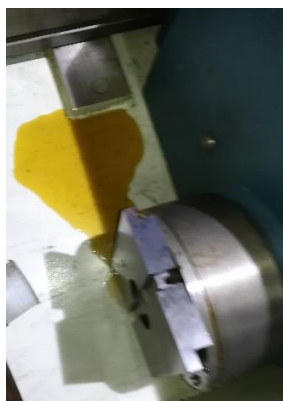
restantes componentes. Para que fosse possível fazer uso deste recurso foi, no entanto, necessário remover a cortina de proteção do centro de maquinagem, que impedia o posicionamento vertical do gancho da grua. Assim, e com recurso a múltiplas cintas, procedeu-se à remoção da estrutura metálica, onde se encontra o carregador de ferramentas, e do eixo B.

Neste momento ficou evidente o estado real de má conservação em que se encontrava o equipamento, em que, no processo de colocar o eixo B numa posição mais favorável á utilização das cintas, constatou-se uma grande quantidade de aparas de MDF e de diversas ligas metálicas acumuladas, como se pode observar na *Figura 5.11*.



*Figura 5.11 - Etapa da remoção do eixo B e o seu estado de conservação.*

Foi ainda identificado outro problema, relativamente ao eixo B, que não tinha sido previsto. Aquando desta etapa, ao deitar a estrutura do eixo B a base retangular responsável pela receção e fixação das paletes, como se mostra na *Figura 5.12*, ocorreu o derrame de um líquido, aparentemente água com ferrugem, que se encontrava retido no seu interior.



*Figura 5.12 - Água enferrujada libertada do interior do eixo B.*

Uma vez que havia acontecido este imprevisto, e atendendo à possibilidade de ser libertada mais água, procedeu-se à imediata remoção do servomotor do eixo B, identificado na *Figura 5.13*, para que se eliminasse a possibilidade de o vir a danificar por introdução inadvertida deste líquido. Para além disso foram também desconectados e removidos todos os sensores indutivos do eixo B bem como o seu codificador incremental e as respetivas conexões ao servomotor, a fim de prevenir qualquer situação indesejada.



*Figura 5.13 - Desmontagem do servomotor do eixo B.*

Estando todos os dispositivos elétricos e eletrónicos salvaguardados, iniciou-se a desmontagem da base referida, antes de se proceder à remoção de toda a estrutura de suporte do eixo B. Desta forma, e prevenindo a possibilidade de haver mais água no seu interior, esta água seria retida pela caixa de recolha das aparas existente por baixo da mesa B, tornando mais prática a sua posterior eliminação.

O início da desmontagem acabou por revelar os estragos causados pela água em conjunto com a falta de manutenção no equipamento. Na *Figura 5.14*, *Figura 5.15* e *Figura 5.16* pode-se observar



um estado avançado de oxidação dos vários componentes, bem como uma mistura de água e ferrugem.



*Figura 5.14 - Desmontagem da base.*



*Figura 5.15 - Estrutura cilíndrica de acondicionamento da base.*



*Figura 5.16 - Desmontagem do prato do sistema pneumático.*

A presença de água nestes componentes é um fator preocupante, pois o conjunto anterior, desempenha a função de subir ou descer a base retangular, onde são fixadas as paletes com o material a ser maquinado. O seu funcionamento, à semelhança do que acontece nos cilindros pneumáticos de simples efeito, utiliza ar comprimido para executar a subida da base (soltando a paleta), sendo as molas responsáveis pelo recuo após a paragem do fornecimento do ar comprimido.

Assim a presença de água, mais precisamente no local onde se encontravam as molas, poderia causar a sua oxidação total, podendo os resíduos resultantes da oxidação, providenciar uma obstrução ao movimento de subida da base retangular.

No seguimento da desmontagem dos restantes componentes, constatou-se a ausência de lubrificação nos patins de esferas recirculantes do carro responsável pelo movimento longitudinal (ao longo do eixo X). Na *Figura 5.17* mostra-se o carro longitudinal, sendo evidente a sujidade presente bem como a contaminação dos patins de esferas que se mostra na *Figura 5.19*, por detritos de MDF que podem levar a um desgaste prematuro do conjunto de guiamento.

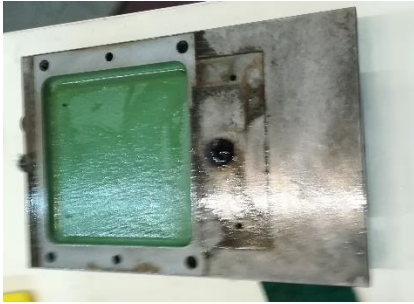


Figura 5.17 - Carro transversal do eixo X, visto de cima.

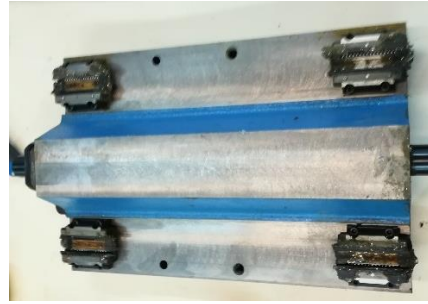


Figura 5.18 - Patins de esferas recirculantes do carro transversal do eixo X, visto de baixo.



Figura 5.19 Patim do carro longitudinal evidenciando a ausência de lubrificação e a contaminação por pó de MDF.

Após a desmontagem completa do equipamento, ficou evidente que o arranjo plano da estrutura da base, como se mostra na *Figura 5.20*, representa uma deficiência deste equipamento pois contribui para a acumulação das aparas. Numa análise mais detalhada foi mesmo possível verificar que o conjunto de aparas metálicas e pó de MDF se encontrava colado à base, tendo sido necessário a utilização de uma espátula para a sua remoção.



Figura 5.20 - Estado de conservação da estrutura da base.



## 5.2. Limpeza e Pintura

No seguimento dos trabalhos de requalificação do objeto de estudo desta dissertação, foi necessário adquirir um conjunto ferramentas e meios imprescindíveis à realização do processo de limpeza.

Algumas delas foram:

- Panos de microfibras;
- Desengordurante;
- Escovas de aço para berbequim;
- Espátula;
- Pincel;
- Esfregão verde;

A primeira fase de limpeza iniciou-se pela aspiração de todas as aparas e pó presentes em todo o equipamento, sendo possível observar o resultado recolhido dessa tarefa através da *Figura 5.21*.

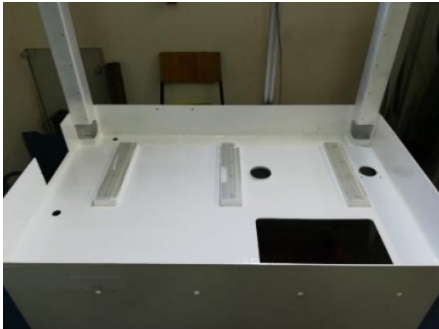


*Figura 5.21 - Quantidade de aparas e pó presentes no equipamento.*

A partir deste ponto foi então possível iniciar-se a limpeza mais detalhada dos vários componentes com recurso ao desengordurante e aos panos de microfibras. Como já referido anteriormente, o espaço do laboratório não está preparado para acomodar uma tarefa desta envergadura. Assim delineou-se uma estratégia de limpeza orientada, ou seja, primeiramente foi limpa a estrutura da base e posteriormente o barramento do eixo X, sendo os restantes componentes e estruturas deixados de parte. Desta forma e atendendo às grandes dimensões do barramento do eixo X, a sua limpeza e seguidamente montagem permitiu a libertação de espaço essencial ao seguimento do trabalho de limpeza dos restantes componentes.

Na

*Figura 5.22* pode-se observar o estado da estrutura da base após a primeira demão de tinta branca. A escolha da tonalidade branca teve por justificação a tentativa de melhorar a luminosidade da própria base, aliada a uma fácil identificação do estado de limpeza que esta cor propicia.



*Figura 5.22* – Resultado da primeira demão da tinta.



*Figura 5.23* - Tinta HAMMERITE utilizada na pintura da base [52].

Além disso a tinta escolhida, um esmalte sintético da marca *HAMMERITE*, *Figura 5.23*, possui um conjunto de qualidades adicionais que influíram na sua escolha. A característica hidrorrepelente e anticorrosiva desta tinta tiveram um peso relevante na escolha uma vez que permitirão assegurar a integridade da base por mais tempo, facilitando também o escoamento do fluido de corte.

Outra vantagem desta tinta é dispensar a necessidade de primário e poder ser aplicada em superfícies já oxidadas (reage com os óxidos, criando uma película aderente que impede o prosseguimento da oxidação).

### 5.3. Montagem do Centro de Maquinagem

O processo de montagem do barramento do eixo X foi executado com recurso à grua e das cintas utilizados aquando da desmontagem. Antes da instalação do barramento, para eliminar toda a oxidação da sua superfície do barramento, utilizou-se uma escova de aço para berbequim, tendo-se apenas escovado as superfícies não pintadas. É de realçar o bom estado que resultou da pintura, motivo pela qual não se executou uma segunda demão da pintura do barramento.

O resultado pode ser observado na *Figura 5.24*, realçando-se aqui que neste ponto o cilindro pneumático e todo o sistema de guiamento e transmissão da cortina de protecção bem como o carro do eixo X também já haviam sido instalados.



*Figura 5.24 - Barramento e carro do eixo X depois de limpos e escovados.*

Na *Figura 5.25* é possível verificar a disposição da área de trabalho, tendo-se organizado todas as peças já limpas numa mesa, sendo a montagem depois realizada na mesa mais próxima da estrutura do centro de maquinagem. O espaço deixado entre mesas é importante, para possibilitar a passagem da grua entre a máquina e os locais de depósito para manutenção, para movimentar os componentes mais pesados.



*Figura 5.25 - Laboratório durante a fase de montagem.*

A montagem da coluna e do carro do eixo Y teve de ser executada em simultâneo antes da sua instalação definitiva sobre o carro do eixo X como se pode observar pela *Figura 5.26*. Como o servomotor do eixo Y e o fuso de porca de esferas recirculantes ainda não tinham sido instalados, utilizaram-se cintas de forma a sustentar o carro do eixo Y. Posteriormente realizou-se o alinhamento

da coluna com a base do carro do eixo X através de dois pinos guia, *Figura 5.27*, sendo depois realizada a fixação com recurso a quatro ligações aparafusadas.



*Figura 5.26 - Montagem da coluna e do carro do eixo Y.*



*Figura 5.27 - Fixação da coluna através de parafusos e alinhamento por pinos guia.*

Em seguida foram removidas as cintas usadas na suspensão (*Figura 5.26 e Figura 5.27*), uma vez que foi necessário remover os parafusos onde estas estavam apoiadas, tendo-se utilizado um bloco de madeira como sustentação do carro do eixo Y (ver *Figura 5.28*).

Com as cintas removidas procedeu-se à montagem do fuso de esferas bem como de todos os componentes inerentes ao carro do eixo Y como se pode observar na *Figura 5.28*. Em seguida foram instaladas todas as coberturas tipo fole para garantir alguma proteção das guias e dos fusos dos eixos X e Y, tendo-se instalado também o carro do eixo Z visível na *Figura 5.29*.



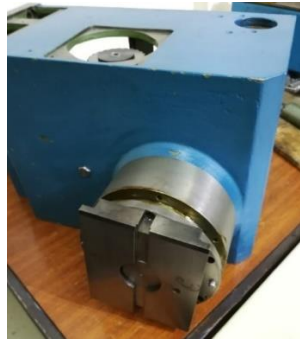
*Figura 5.28 - Montagem do fuso de esferas do eixo Y.*



*Figura 5.29 - Montagem do eixo Z.*

Em seguida iniciou-se a montagem do eixo B, como mostra a *Figura 5.30*. Contudo e uma vez que o seu servomotor e codificador incremental ainda não tinham sido testados, decidiu-se não se realizar a sua montagem imediatamente na estrutura do centro de maquinagem. Assim, este foi colocado numa mesa como se observa na *Figura 5.31*, permitindo em caso de necessidade um acesso mais fácil ao

servomotor e ao codificador para a realização de testes, o que não seria possível caso o eixo B fosse instalado.



*Figura 5.30 - Montagem da base retangular do eixo B.*



*Figura 5.31 - Vista de trás do eixo B todo montado.*

Finalmente instalou-se a estrutura responsável pelo acomodamento do carregador de ferramentas, *Figura 5.32*, sendo o último componente em que se fez uso da grua.



*Figura 5.32 - Estrutura do carregador de ferramentas.*

## 5.4. Requalificação de Componentes

O centro de maquinagem em consequência da falta de uso, motivada por uma avaria do sistema de controlo, e aliado ao fato de ser um equipamento com alguma idade e pouca utilização relativa, levou a que alguns componentes acabassem por evidenciar sinais de desgaste.

Um desses componentes era a unidade de fluido de corte, *Figura 5.33*, que apresentava o medidor do nível de fluido de corte (salientado nesta figura) completamente obstruído, com um dos vedantes completamente ressequido e as duas mangueiras (uma do ar comprimido e outra do fluido de corte) também obstruídas e deterioradas. No caso do vedante, *Figura 5.34*, recortou-se um novo a partir de um pedaço de borracha, respeitando as dimensões do original tendo-se posteriormente realizado um teste à vedação com a admissão de ar comprimido. Após a confirmação da não

existência de fugas, toda a unidade foi limpa e esvaziado o pouco fluido de corte que se encontrava no seu interior, de forma a se proceder à desmontagem do tubo de nível, e realizar a sua desobstrução. Como todas as mangueiras pneumáticas se encontravam deterioradas, foram substituídas, e nas conexões aparafusadas utilizou-se fita de teflon para garantir a total vedação.



*Figura 5.33 - Unidade de fluido de corte.*



*Figura 5.34 - Pormenor do vedante danificado.*

Na *Figura 5.35* pode-se constatar o resultado da requalificação realizada à unidade de fornecimento de fluido de corte, bem como a sua instalação na parte posterior do centro de maquinagem.



*Figura 5.35 - Instalação da unidade de fluido de corte.*

No processo de desmontagem ficou evidente uma lacuna do sistema pneumático do centro de maquinagem: não existia um lubrificador na unidade de tratamento de ar. No entanto e depois de se verificar o armário em que se encontram todos os documentos e peças do centro de maquinagem, detetou-se o lubrificador em falta.



Porém, após a sua reinstalação ficou evidente o motivo da sua desmontagem: ao ligar o ar comprimido este lubrificador apresentava uma grande fuga, pelo que se acredita ter sido esse o motivo da sua remoção da unidade. A simples remoção não seria contudo, a melhor solução, até porque a lubrificação do ar, ao nível dos sistemas pneumáticos, previne a deterioração prematura provocada pelo atrito e pela corrosão. Como tal efetuou-se a desmontagem de toda a unidade de tratamento (filtro e válvula reguladora, lubrificador, e válvula solenoide) tendo-se executado a limpeza e verificação dos todos os vedantes. Relativamente ao lubrificador, foi possível detetar a origem do seu mau funcionamento: estava partido onde se faz o ajustamento da lubrificação. Com recurso a cola foi possível consertar a zona danificada tendo sido utilizada também fita de teflon para ajudar na vedação.

Apesar da unidade de tratamento se encontrar a funcionar e estar instalada, como observado na *Figura 5.36*, o autor desta dissertação advoga que a sua substituição será a melhor solução, dado o risco de a reparação não durar muito.

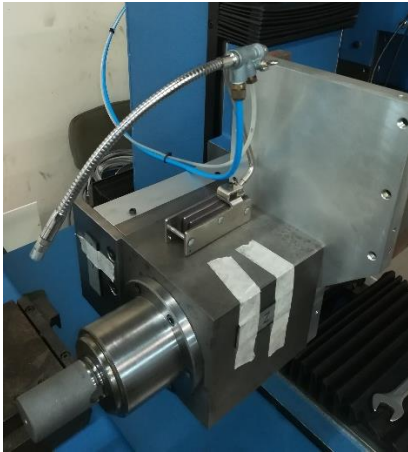


*Figura 5.36 - Unidade de tratamento do ar comprimido do centro de maquinagem.*

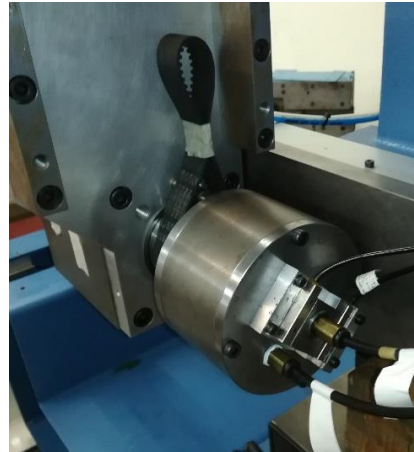
Um componente vital ao centro de maquinagem, que também necessitou de um trabalho de requalificação, foi a árvore. Esta possui acoplado um sistema pneumático que permite a libertação da ferramenta, cujo aperto é realizado pela força gerada através molas de disco sobre o tirante da pinça de fixação da ferramenta.

O problema identificado foi que as molas de disco não garantiam que o tirante de aperto retraísse o suficiente para que ocorresse a fixação da ferramenta. Desta forma foi necessário reconfigurar a disposição das molas de disco, num processo de tentativa erro, até que a fixação da ferramenta fosse conseguida garantindo-se, por sua vez, a libertação através do sistema pneumático.

Realizada com sucesso a reconfiguração das molas de disco, procedeu-se à montagem da árvore na placa do eixo Z, como se pode observar pela *Figura 5.37*, tendo sido executadas todas as ligações pneumáticas posteriormente como se evidencia na *Figura 5.38*.



*Figura 5.37 - Instalação da árvore, vista de frente.*



*Figura 5.38 – Árvore, vista de trás.*

Atendendo ao sucesso da requalificação dos vários componentes, a última etapa centrou-se na execução da ligação dos sensores, bem como na montagem do sistema pneumático sendo posteriormente realizadas as ligações das respetivas solenoides no bloco de terminais do centro de maquinagem.

Na *Figura 5.39* podem observar-se do lado direito da figura, todas as ligações elétricas anteriormente referidas (das solenoides e dos sensores), e o bloco de válvulas pneumáticas à esquerda.



*Figura 5.39 - Realização das ligações dos sensores e do sistema pneumático.*

Na *Figura 5.40*, é possível observar-se a aparência final do centro de maquinagem após todo o trabalho de requalificação.



Contudo, ficou faltando a montagem do eixo B, pelos motivos já referidos, bem como de todos os motores dos eixos e da árvore, para que fosse possível a realização de testes ao seu funcionamento.



*Figura 5.40 - Centro de maquinagem após requalificação.*

## 6. Discussão de resultados

O processo de desmontagem possibilitou a produção de um manual de montagem, baseado em registros fotográficos, dos muitos componentes que compõem o centro de maquinagem. Desta forma torna-se possível, independentemente da sua natureza, uma intervenção mais cirúrgica ao nível da manutenção em caso de necessidade.

Por outro lado, e atendendo ao fato de que o equipamento foi totalmente desmontado, ficou perceptível a carência das guias de deslizamento do carregador de ferramentas, bem como a necessidade de substituição da porca de esferas do fuso do eixo Z.

Além disso, a unidade de tratamento do ar comprimido também apela à sua substituição bem como todos os tubos do grupo pneumático.

Uma vez que o sistema de comando não se encontrava em funcionamento, os vários sensores foram testados um a um, de forma a testar a sua integridade, tendo ficado evidente o correto funcionamento de todos eles.

Contudo, e atendendo ao projeto ambicioso reportado pelos objetivos desta dissertação, apenas foram realizados alguns testes aos motores e seus codificadores. Em análise destaca-se a mediação da resistência das bobinas dos servo motores, bem como testes de continuidade para determinar o estado de conservação.

Todos os servo motores se encontravam em bom estado, porém os codificadores aparentam não estar em plenas condições uma vez que, através do osciloscópio, verificou-se a ausência dos sinais de alguns canais.

A proposta do novo sistema de controlo, nomeadamente o Linuxcnc, apenas foi possível a familiarização com o *software* e com as placas adquiridas. Desta forma a sua implementação ficou aquém do esperado uma vez que, por motivos desconhecidos, não se conseguiu estabelecer a comunicação entre os servo amplificadores e o Linuxcnc de forma sólida.

## **7. Conclusão**

Ao longo deste trabalho ficou evidente a necessidade e importância que existe na manutenção e preservação de um equipamento, reduzindo-se assim a possibilidade de ocorrer uma avaria que leve à sua inoperabilidade. Contudo, outro fator de extrema importância, prende-se com a posse de manuais técnicos, fundamentais no auxílio da manutenção de um equipamento CNC devido a complexidade destes e dos seus subsistemas.

No entanto, a oportunidade de realização de um trabalho de recondicionamento em um equipamento CNC mostrou-se ser bastante desafiante, porém o valor pedagógico é muito enriquecedor e permitiu pôr em prática conhecimentos adquiridos ao longo do curso. O fato deste centro de maquinagem se tratar de uma máquina complexa, permitiu expandir os conhecimentos para lá da componente da mecânica, desde a sua parte elétrica até à componente do próprio controlo numérico.

Apesar de o equipamento ainda não se encontrar a funcionar, toda a componente mecânica fora revista e como tal, conseguiu-se alcançar um patamar de certeza, que possibilitará que trabalhos futuros possam ser realizados tendo por base esta dissertação.

Para além disso, o manual baseado no registo fotográfico produzido ao longo deste trabalho, será sem dúvida útil numa eventual necessidade de substituição de componentes no caso de avaria.

## 7.1. Sugestão de Trabalhos Futuros

Apesar da requalificação do centro de maquinagem, não foi possível se alcançar o objetivo primordial de colocação do equipamento em funcionamento. Assim, e uma vez que grande parte do trabalho se fez incidir sobre toda a componente mecânica, e parte da componente elétrica, sugere-se uma avaliação aprofundada de toda a parte de controlo.

Os motores dos eixos representam o foco principal dos trabalhos futuros, sendo de extrema importância a sua caracterização e compreensão, para que se possa determinar que servo amplificadores serão os mais adequados para um correto funcionamento. Contudo, realça-se também a avaliação da integridade dos respetivos codificadores, para que se possa saber se existe a necessidade da sua substituição.

Um aspeto também muito importante será a determinação do número total de sinais de entrada e saída necessários ao funcionamento do equipamento, para se avaliar a compatibilidade com a placa destinada a esse fim.

Apos estes passos, sugere-se a determinação de componentes necessários ao suporte de funcionamento da parte da logica e de potencia, uma vez que os existentes podem não ser compatíveis com a requalificação pretendida.

Finalmente, o estudo e compreensão do software de CNC, nomeadamente o Linuxcnc, será o marco mais importante de todas as sugestões de trabalhos futuros, pois a validação do processo de requalificação depende da relação do software com o equipamento.

## Referências

- [1] T. Martins, “Evolução da Manutenção em 4 Fases - Saiba mais sobre a evolução agora,” *[website]*, 2019. <https://tuliomartins.com.br/evolucao-da-manutencao/>.
- [2] T. Cortizo Moreira Neto, “A história da evolução do sistema de gestão de manutenção,” *Web Artig.*, pp. 50–63, 2017, [Online]. Available: <https://www.webartigos.com/artigos/a-historia-da-evolucao-do-sistema-de-gestao-de-manutencao/75650/>.
- [3] F. Soares, “AUMAQ RS - Máquinas para Automação,” *Nova revolução*, 2017. <http://www.aumaqrs.com.br/novidade/nova+revolucao/4>.
- [4] S. Gomes, “Manutenção Industrial - Histórico da Manutenção Industrial,” *[website]*, 2016. <http://manutencaodesistemasindustriais.blogspot.com/2015/02/manutencao-industrial-aula-01-historico.html>.
- [5] A. Pontes, “Introdução a Manutenção de Máquinas e Equipamentos,” *[website]*, 2015. <https://pt.slideshare.net/dissonpontes/introducao-a-manutencao-de-maquinas-e-equipamentos>.
- [6] GIAGI, “Gestão da Manutenção e Disponibilidade dos Equipamentos,” *[website]*, 2017. <https://www.giagi.pt/data/fileBIB2010115144645.pdf>.
- [7] P. S. de Almeida, “Manutenção Mecânica Industrial Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada,” 2018, p. 15.
- [8] L. Corte-Real Chaves, “POLÍTICA DE MANUTENÇÃO - ppt carregar,” *[website]*, 2015. <https://slideplayer.com.br/slide/4914709/>.
- [9] “The Retrofit Advantage: Important Considerations when Retrofitting, Rebuilding or Remanufacturing machine Tools,” [Online]. Available: [https://www.galco.com/engsvc/retrofit\\_advantage.pdf](https://www.galco.com/engsvc/retrofit_advantage.pdf).
- [10] Hayrton, “A moda é o retrofitting de máquinas e de edifícios | qualidadeonline's Blog,” *[website]*, 2010. <https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/08/31/a-moda-e-o-retrofitting-de-maquinas-e-de-edificios/>.
- [11] F. Alencar, “O que é a Lei de Moore? Entenda a teoria que ‘prevê’ futuro da Informática | Notícias | TechTudo,” *[website]*, 2015. <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/06/o-que-e-lei-de-moore-entenda-teoria-que-preve-futuro-da-informatica.html>.
- [12] L. Rino, “Lei de Moore,” *Wikipédia*, vol. 289, no. 23122, pp. 1–13, 2011, [Online]. Available: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Moore](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Moore).

- [13] P. Zelinski, "Choosing a retrofit CNC," *Mod. Mach. Shop*, vol. 70, no. 12, p. 80, 1998, [Online]. Available: <https://www.mmsonline.com/articles/choosing-a-retrofit-cnc>.
- [14] GURUTZPE, "Cnc machine retrofit | GURUTZPE," [website], 2020. <https://gurutzpe.com/en/services/retrofitting/>.
- [15] NC Service, "Retrofitting of second hand milling machines - NC Service," 2020. <https://www.ncservice.com/en/retrofitting-milling-machines>.
- [16] CIMM, "Histórico da máquina-ferramenta | Usinagem - CIMM." [https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/4857-historico-da-maquina-ferramenta](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4857-historico-da-maquina-ferramenta).
- [17] TOPpublica, "Máquinas Operatrizes – Sua História," 2012, [Online]. Available: <https://toppublica.wordpress.com/2012/05/03/maquinas-operatrizes-sua-historia/>.
- [18] S. História, "Resumo - Revolução Industrial," 2019. <https://www.sohistoria.com.br/resumos/revolucaoindustrial.php>.
- [19] F. Rosas, "A Máquina a Vapor." 2014, [Online]. Available: <https://ensina.rtp.pt/artigo/maquina-a-vapor/>.
- [20] F. A. Cassaniga, "A história e aplicações do CNC," pp. 1956–1957, 2007, Accessed: Oct. 16, 2020. [Online]. Available: <http://www.ftriunfo.com.br/informativos/ver/7/a-historia-e-aplicacoes-do-cnc/>.
- [21] B. Tools, "History of CNC Machining." <https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-1-2a4b290d994d>.
- [22] Guia do Estudante CNC, "O QUE É CNC?," [website]. <https://guiadoestudentecnc.webnode.com/products/oque-e-cnc-/>.
- [23] TechDifferences, "Difference Between NC and CNC," [website], 2019. <https://techdifferences.com/difference-between-nc-and-cnc.html#KeyDifferences>.
- [24] S.-H. Suh, S.-K. Kang, D.-H. Chung, and I. Stroud, *Theory and Design of CNC Systems - (Springer series in advanced manufacturing)*. 2008.
- [25] C. R. Source, "Open vs Closed Loop System," [website], 2007. <http://www.cncroutersource.com/closed-loop-system.html>.
- [26] "CNC Control - 3: Open and Closed Loop Control," [website]. [http://www.kanabco.com/1CNCCAM\\_systems/2cnc\\_control/\\_03.html](http://www.kanabco.com/1CNCCAM_systems/2cnc_control/_03.html).
- [27] Real Pars, "What is the Difference between Absolute and Incremental Encoders?," [website], 2019. <https://realpars.com/absolute-vs-incremental-encoder/>.
- [28] RealPars, "What is an Encoder?," [website], 2019. <https://realpars.com/encoder/>.

- [29] F. Almeida, "O que é Encoder? Para que serve? Como escolher? Como interfacear? | HI Tecnologia," *[website]*. <https://www.hitecologia.com.br/blog/o-que-é-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/> (accessed Oct. 15, 2020).
- [30] K. Lewotsky, "Understanding Optical Encoders," *[website]*, 2014.  
[https://www.motioncontrolonline.org/content-detail.cfm/Motion-Control-Technical-Features/Understanding-Optical-Encoders-Part-I-of-II/content\\_id/311](https://www.motioncontrolonline.org/content-detail.cfm/Motion-Control-Technical-Features/Understanding-Optical-Encoders-Part-I-of-II/content_id/311).
- [31] HIWIN Corporation, "AC Servo Motors and Drives." <https://www.hiwin.com/ac-servo-motors-drives.html>.
- [32] Real Pars, "WHAT IS A SERVO MOTOR AND HOW IT WORKS?," *[website]*, 2018.  
<https://realpars.com/servo-motor/>.
- [33] G. E. Thyer, *Computer Numerical Control of Machine Tools*. 1991.
- [34] H. A. Youssef and H. El-Hofy, *MACHINING TECHNOLOGY Machine Tools and Operations*. 2008.
- [35] HIWIN Corporation, "Linear Guideways." <https://www.hiwin.com/linear-guideways.html>.
- [36] A. K. G, "Linear motion guideways," *Nb bearings*.  
<https://pt.slideshare.net/Akgroyalmech/linear-motion-guideways>.
- [37] Taikan, "Comparison of Box Guide Ways Vs Linear Motion Guide Ways," *[website]*, 2017.  
<https://www.taikanmachine.com/article/comparison-of-box-guide-ways-vs-linear-motion-guide-ways.html> (accessed Oct. 26, 2020).
- [38] Kitamura, "Rigidity - Solid Box Guide Ways." <https://www.kitamura-machinery.com/advantages/562/> (accessed Oct. 25, 2020).
- [39] ISC COMPANIES, "Linear Motion." <https://isccompanies.com/parts-distribution/linear-motion/propulsion/>.
- [40] HIWIN Corporation, "Ballscrews." [Online]. Available: <https://www.hiwin.com/ballscrews.html>.
- [41] Siemens, "SIMODRIVE 610 - Transistor PWM Inverter for Three-Phase Feed Drives with Analog Control." 1991.
- [42] L. THK CO., "GK series Features of the LM Guide."
- [43] UMBRAGROUP, "UMBAGROUP," 2020.  
<https://www.umbragroup.com/company/umbragroup/58/kuhn-prazisionsspindel-n-und-gewindetechnik-gmbh>.
- [44] UMBRAGROUP, "Ballscrews for industrial applications." 2011.
- [45] Siemens, "Industry Support Siemens," *[website]*, 2020.  
<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/203639?pdtdi=pi&dl=pt&lc=pt-PT>.

- [46] Siemens, "AC Motors for Feed and Main Spindle Drives ( Encoder Systems (GE)),” 2000.
- [47] Siemens, "Three-phase servomotors - 1FT5 06. - 1FT5 13. Operating Instructions,” 1993.
- [48] Siemens, "Three-phase servomotors - 1FT5 02. - 1FT5 04. Operating Instructions,” 1993.
- [49] HEIDENHAIN, "Rotary encoders.” 2017.
- [50] BALLUFF, "BES 516-324-E4-C-PU-05.” 2019, [Online]. Available: [www.balluff.com](http://www.balluff.com).
- [51] BALLUFF, "BES 516-300-S166-PU-05.” 2019, [Online]. Available: [www.balluff.com](http://www.balluff.com).
- [52] Leroy Merlin Portugal, "Esmalte antioxidante e anticorrosivo hammerite branco 2.5l.”  
[https://www.leroymerlin.pt/Produtos/Tintas-e-drogaria/Produtos-para-metal/Tinta-para-ferro/WPR\\_REF\\_12918276?gclid=CjwKCAiAqJn9BRB0EiwAJ1SztRKgp3jR88qgHLHRyZUXZ-3FlmN6qGIS5ShaqdEcY4InYtK5iRgQmBoC2CwQAvD\\_BwE](https://www.leroymerlin.pt/Produtos/Tintas-e-drogaria/Produtos-para-metal/Tinta-para-ferro/WPR_REF_12918276?gclid=CjwKCAiAqJn9BRB0EiwAJ1SztRKgp3jR88qgHLHRyZUXZ-3FlmN6qGIS5ShaqdEcY4InYtK5iRgQmBoC2CwQAvD_BwE).



## Veio de Transmissão de Movimento da Cortina



Foto do conjunto completo.

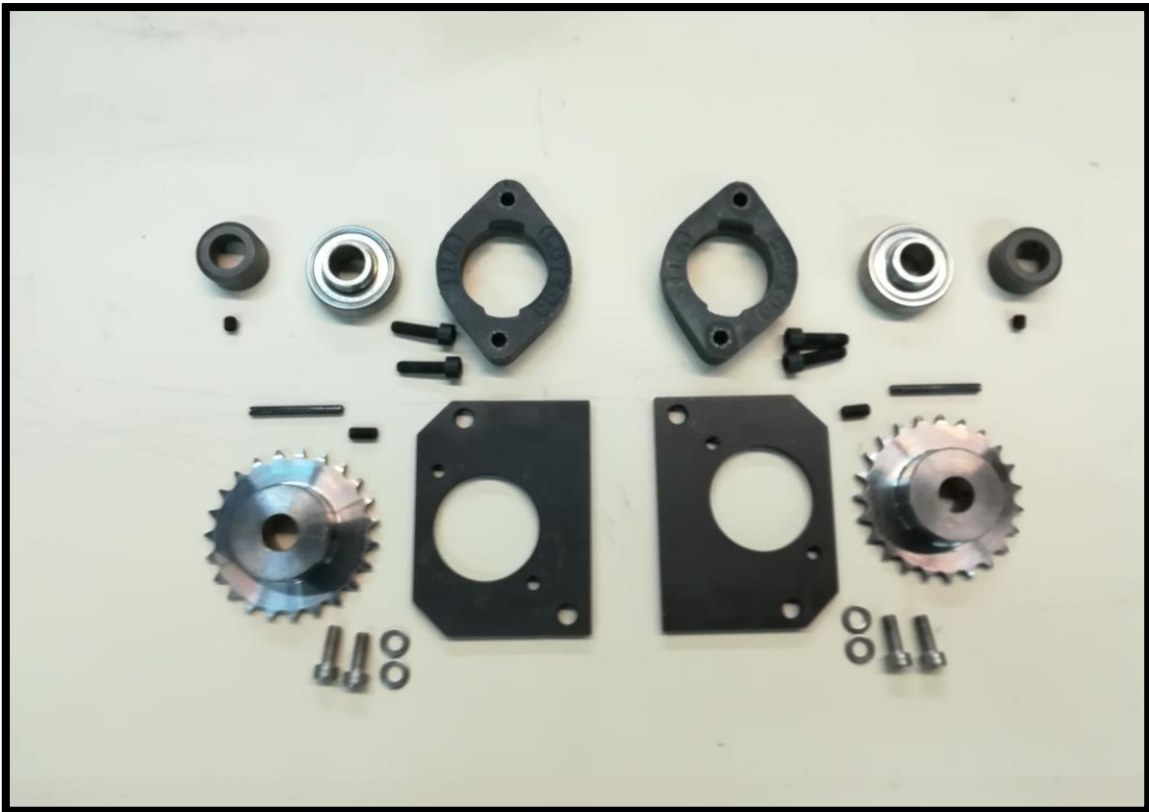


Foto do conjunto em pormenor.



**1º** Montagem da Chumaceira olhal e seu rolamento.



**2º** Inserir o rolamento pela parte superior alinhado com os rasgos da chumaceira.



**3º** Resultado esperado após montagem.



**4º** Fixação da Chumaceira na chapa por dois parafusos.



**5º** Inserir o anel de retenção do veio.



**6º** Inserir o parafuso de fixação do anel do veio.

**Nota:** não apertar de forma a fixar o anel de retenção, pois será necessário executar o alinhamento do veio posteriormente.



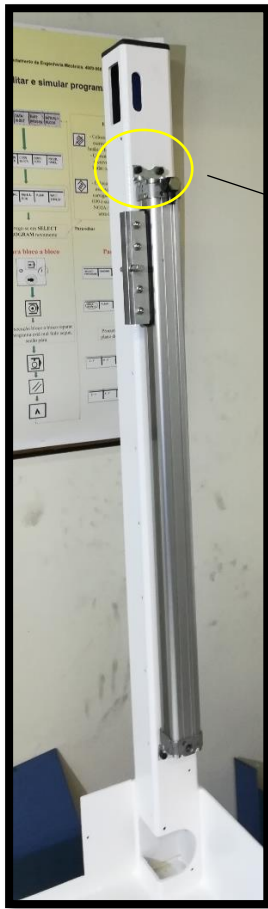
**7º** Inserir o veio na chumaceira.



**8º** Inserir a roda dentada no veio, e fixá-la através do parafuso e do perno.



**9º** Resultado esperado.



**10º** Instalar o cilindro pneumático, através do aparafusamento das chapas de fixação à estrutura, localizadas na parte inferior e superior do cilindro.



Vista do pormenor.

**11º** Instalação das guias das correntes.



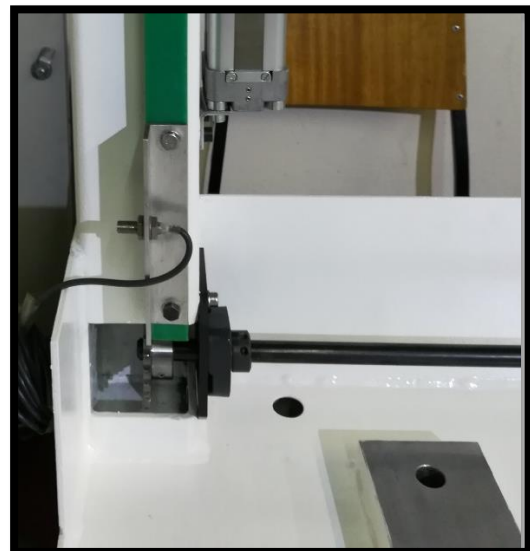


**12º** Instalação dos sensores indutivos da cortina através dos parafusos de fixação da guia da corrente.

**13º** Fixar o veio à estrutura da máquina.



Vista Lateral.



Vista de Frente.

## Foto do conjunto da roda dentada superior



Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Porca;
- Anilha;
- Roda dentada superior;
- Anel espaçador;
- Anilha;
- Parafuso sextavado;



Descrição da montagem:

**1º** Inserir o parafuso sextavado e a anilha no rasgo lateral do pilar da estrutura da máquina.

**2º** Pelo rasgo frontal do pilar da máquina, inserir no parafuso o anel espaçador, seguido da roda dentada superior, segunda anilha e finalmente a porca.

**Nota:** não apertar totalmente o parafuso por forma a possibilitar o movimento do conjunto, ou seja, o aperto deve permitir que o conjunto suba ou desça. Isto será importante pois irá permitir o ajuste da tensão na corrente posteriormente.



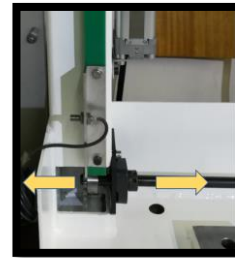


Descrição da montagem:

**1º** Inserir a corrente pelo rasgo frontal do pilar.

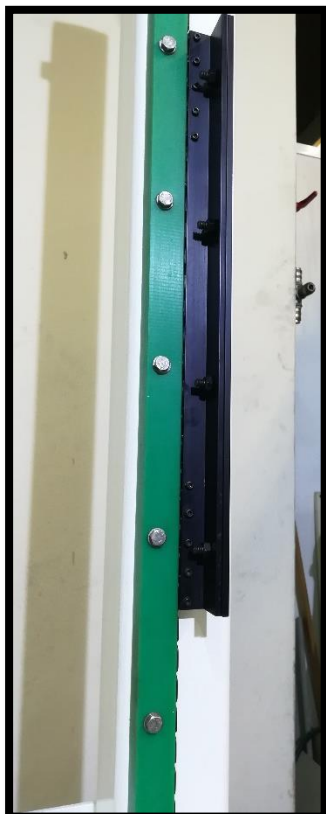
**2º** inserir a corrente na guia vertical que se encontra aparafusada ao pilar.

**3º** Lembrar que anteriormente **se deixou o parafuso do anel do veio "solto"**, desta forma poderemos alinhar a roda dentada inferior.



**4º** Depois de alinhado, apertar o parafuso do anel do veio, fixando-o definitivamente.

**5º** Colocar a emenda na corrente e através da roda dentada superior esticar a mesma e finalmente apertar o parafuso sextavado.



Descrição da montagem:

**1º** Posicionar as chapas de fixação da cortina.

**2º** Fixar a chapa à corrente através dos seus parafusos.





## Eixo B



Foto do Conjunto do Sem fim.



**1º** Lubrificação do rolamento do sem fim.



**2º** Inserir o anel espaçador do veio do sem fim.



**3º** Inserir a tampa fixando-a através de quatro parafusos.



**4º** Inserir a chaveta no veio do sem fim.



**5º** Montar a polia dentada.



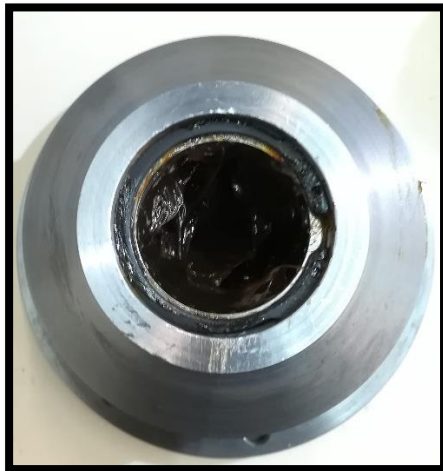
**6º** Fixar a anilha da polia dentada através do parafuso de embeber.



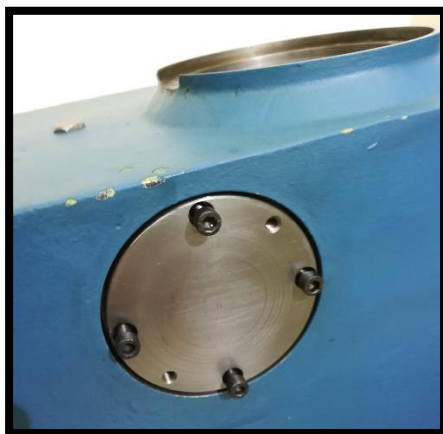
Foto do conjunto do Eixo B.



**1º** Introduzir o freio do rolamento na manga do sem fim.



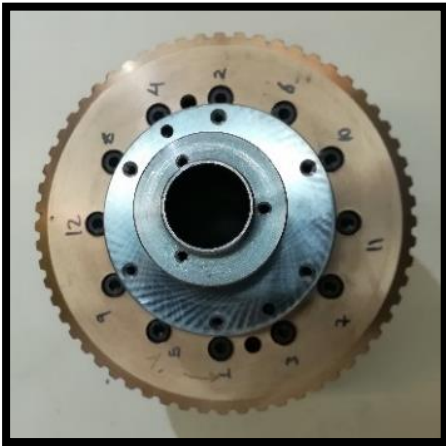
**2º** Lubrificação do rolamento para posterior instalação do sem fim.



**3º** Fixação da manga do sem fim na estrutura do eixo B através de quatro parafusos.



**4º** Inserção da coroa do sem fim no veio do eixo B, responsável pela rotação da mesa de trabalho.



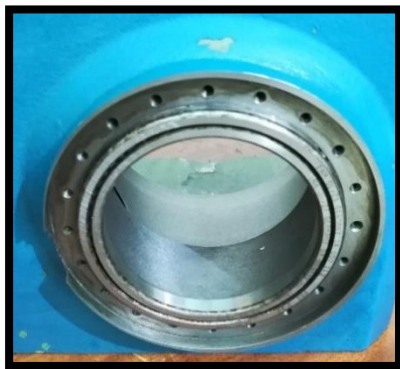
**5º** Fixação da coroa através das ligações aparafusadas ao veio do eixo B.





Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Rolamento de rolos;
- Anel retentor do rolamento;



**6º** Inserir o rolamento de rolos na estrutura do eixo B, responsável pelo acomodamento do veio do eixo B.



**7º** Lubrificação do rolamento com massa consistente.



**8º** Fixação do anel retentor do rolamento à estrutura do eixo B através dos parafusos.



**9º** Inserir o veio do eixo B. Visto de trás.



**10º** Inserir o veio do eixo B. Visto de frente.

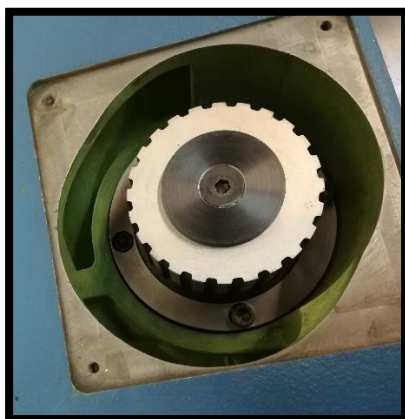


Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Sem Fim do eixo B;
- Anel espaçador do Sem Fim;
- Parafusos de fixação do sem fim;



**11º** Introduzir o anel espaçador do sem fim na estrutura do eixo B, tendo o cuidado em garantir previamente o alinhamento entre a furação do anel com a da estrutura.



**12º** Introduzir o sem fim, alinhando a sua furação com a furação anteriormente referida, executando posteriormente a sua fixação através dos quatro parafusos.

**NOTA:** Antes de se realizar a fixação aparafusada, deve-se garantir a correta engrenagem entre o sem fim e a coroa do veio do eixo B. Podendo ser necessário rotacionar ambos para que isso se verifique.





**13º** Fixação da bucha, á parte frontal do veio do eixo B, impedindo assim o movimento axial do veio e garantido o seu posicionamento final.



**14º** Montagem do conjunto de retração da mesa de trabalho do eixo B. Composto pelo:

- Prato;
- Molas;
- Vedante;



**15º** Inserir o vedante no rebaixo do prato.

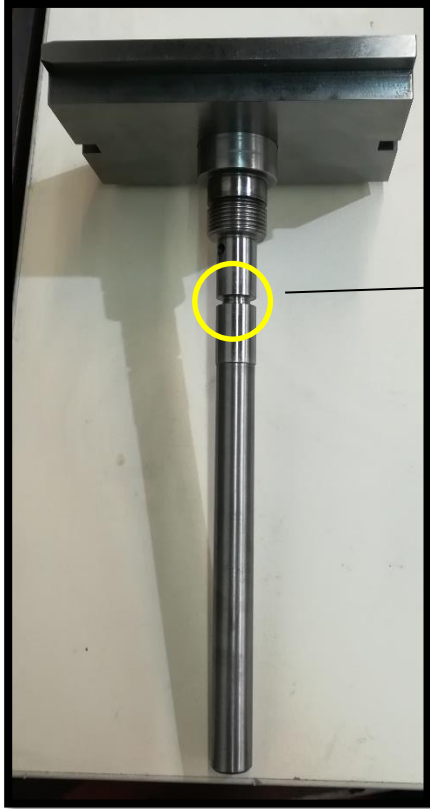


**16º** Lubrificar as molas procedendo-se a sua instalação nos respetivos furos cegos do prato.



Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Mesa do eixo B;
- Tampa da bucha;
- Conjunto de retração da mesa de trabalho;
- Veio oco do sistema pneumático de elevação da mesa de trabalho;
- Vedante do veio;
- Parafusos da tampa da bucha;

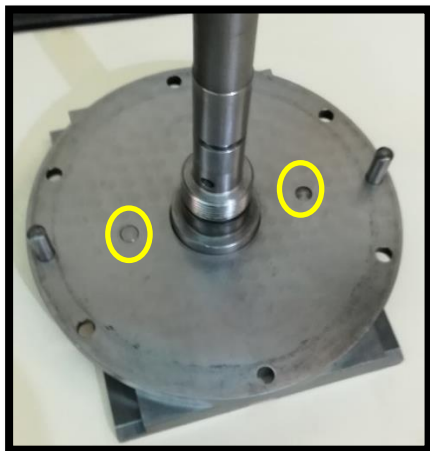


**17º** Montagem do veio oco na mesa do eixo B. Visto de trás.

Rebaixo para montagem do vedante do veio.



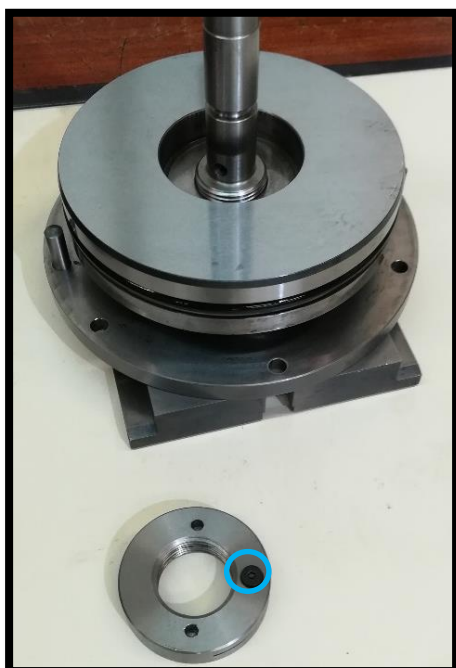
**18º** Montagem do veio oco na mesa do eixo B. Visto de frente.



**19º** Montagem da tampa da bucha na mesa do eixo B através do alinhamento dos pinos guia salientados na imagem.



**20º** Montagem do conjunto de retração da mesa de trabalho.



**21º** Montagem da “porca” de fixação que irá garantir a fixação do conjunto de retração ao veio oco.

**NOTA:** A porca de fixação ao ser enroscada no veio oco irá comprimir as molas do conjunto de retração. É importante garantir que a distancia entre o prato e a tampa da bucha seja de 38 milímetros, pois só assim será possível atender a um correto funcionamento do sistema de retração/elevação da mesa do eixo B.

Por fim, basta apenas apertar o **parafuso** da porca, para se garantir a imobilização desta.



**22º** Lubrificação da coroa do sem fim bem como do respetivo veio.



**23º** Montagem do disco de “travagem” do eixo B. Este disco possui pinos guia para a sua correta instalação no veio da coroa do sem fim, sendo posteriormente fixado através de 6 parafusos.



Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Pistão;
- Vedantes do pistão;
- Molas;



**24º** Montagem dos vedantes no pistão.

Este pistão será responsável por atuar sobre o disco de travagem, sendo o disco, responsável pela imobilização do movimento de rotação do eixo B.



**25º** Montagem das molas no pistão.

As molas têm a função de descolar o pistão do disco. Possuem na sua extremidade um disco polimérico que impede um contacto abrasivo sobre o disco de travagem quando o pistão é atuado pneumáticamente.



**26º** Montagem do pistão no veio da coroa do sem fim.





Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Tampa;
- Vedante da tampa;



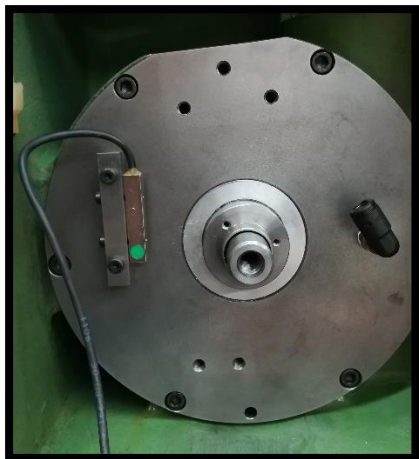
**27º** Montagem da tampa na estrutura do eixo B.  
Esta tampa em conjunto com o seu vedante garantem a estanquicidade existindo assim condições favoráveis ao bom funcionamento do pistão.



**28º** Montagem do conjunto de retração da mesa de trabalho na bucha.

A tampa da bucha possui pinos guia para o posicionamento preciso da tampa antes da sua fixação.





**29º** Montagem do sensor indutivo bem como da conexão rápida do ar comprimido.



**30º** Montagem da flange do codificador incremental.



**31º** Montagem da polia dentada do veio do eixo B. Esta polia é responsável pela transmissão do movimento de rotação do veio do eixo B ao codificador, através de uma correia dentada.





Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Anel do sensor indutivo;
- Conexão rápida rotativa;



**32º** Montagem do anel do sensor indutivo e da conexão rápida rotativa.

O anel é responsável pela atuação do sensor indutivo posteriormente instalado. Desta forma o controlador consegue determinar quando a mesa esta levantada ou baixada.

A conexão rápida rotativa permite que o ar comprimido possa ser encaminhado pelo veio oco até ao conjunto de retração, forçando o prato a comprimir as molas elevando a mesa de trabalho.



**33º** Montagem do sensor indutivo (atuado pelo anel observado anteriormente) e do seu suporte em “L”.



**34º** Montagem da correia dentada do codificador.



**35º** Ligação dos cabos do motor e sua fixação à estrutura do eixo B.

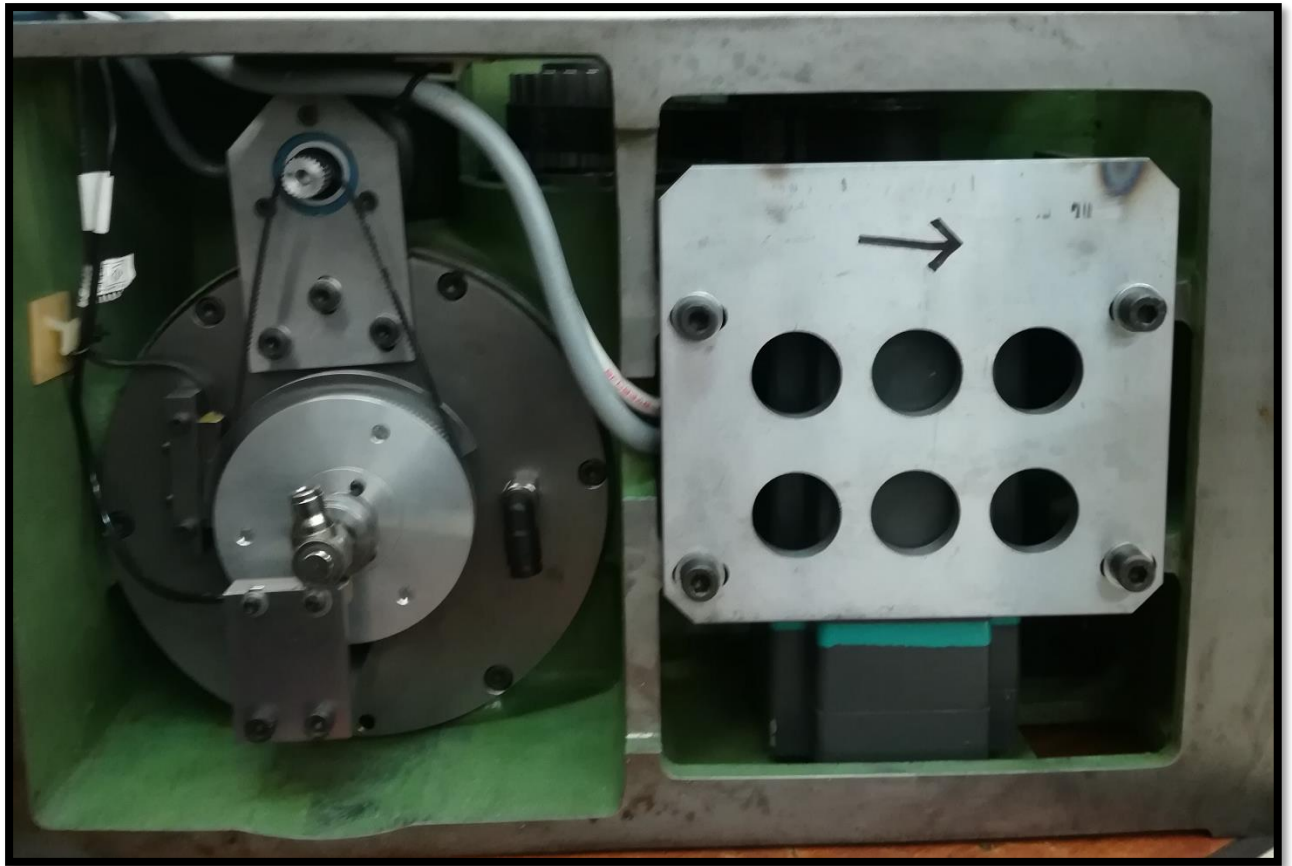


Foto do Eixo B Completamente montado.

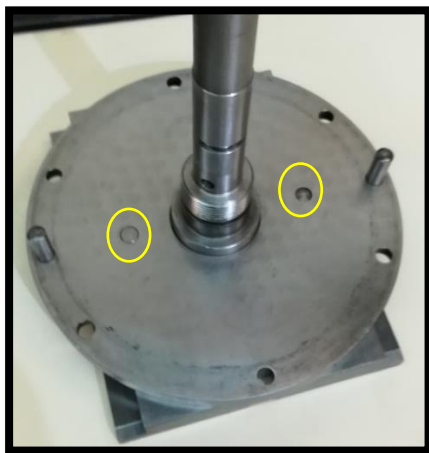


**17º** Montagem do veio oco na mesa do eixo B. Visto de trás.

Rebaixo para montagem do vedante do veio.



**18º** Montagem do veio oco na mesa do eixo B. Visto de frente.



**19º** Montagem da tampa da bucha na mesa do eixo B através do alinhamento dos pinos guia salientados na imagem.



**20º** Montagem do conjunto de retração da mesa de trabalho.



**21º** Montagem da “porca” de fixação que irá garantir a fixação do conjunto de retração ao veio oco.

**NOTA:** A porca de fixação ao ser enroscada no veio oco irá comprimir as molas do conjunto de retração. É importante garantir que a distancia entre o prato e a tampa da bucha seja de 38 milímetros, pois só assim será possível atender a um correto funcionamento do sistema de retração/elevação da mesa do eixo B.

Por fim, basta apenas apertar o **parafuso** da porca, para se garantir a imobilização desta.



**22º** Lubrificação da coroa do sem fim bem como do respectivo veio.



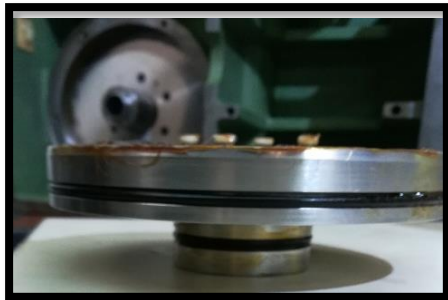
**23º** Montagem do disco de “travagem” do eixo B. Este disco possui pinos guia para a sua correta instalação no veio da coroa do sem fim, sendo posteriormente fixado através de 6 parafusos.





Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Pistão;
- Vedantes do pistão;
- Molas;



**24º** Montagem dos vedantes no pistão.

Este pistão será responsável por atuar sobre o disco de travagem, sendo o disco, responsável pela imobilização do movimento de rotação do eixo B.



**25º** Montagem das molas no pistão.

As molas têm a função de descolar o pistão do disco. Possuem na sua extremidade um disco polimérico que impede um contacto abrasivo sobre o disco de travagem quando o pistão é atuado pneumaticamente.



**26º** Montagem do pistão no veio da coroa do sem fim.



Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Tampa;
- Vedante da tampa;

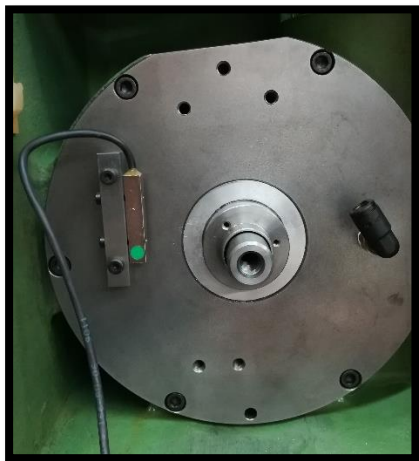


**27º** Montagem da tampa na estrutura do eixo B.  
Esta tampa em conjunto com o seu vedante garantem a estanquicidade existindo assim condições favoráveis ao bom funcionamento do pistão.



**28º** Montagem do conjunto de retração da mesa de trabalho na bucha.

A tampa da bucha possui pinos guia para o posicionamento preciso da tampa antes da sua fixação.

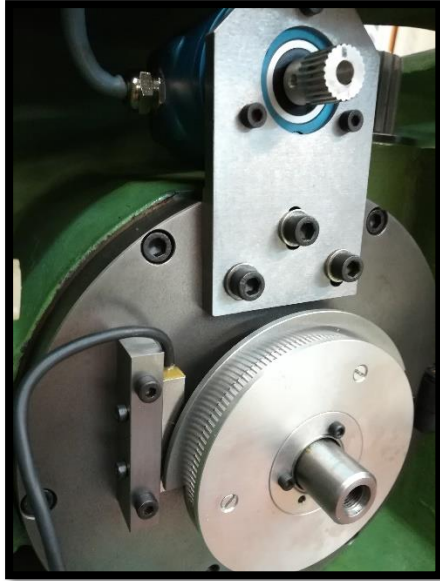


**29º** Montagem do sensor indutivo bem como da conexão rápida do ar comprimido.



**30º** Montagem da flange do codificador incremental.





**31º** Montagem da polia dentada do veio do eixo B. Esta polia é responsável pela transmissão do movimento de rotação do veio do eixo B ao codificador, através de uma correia dentada.



Descrição da imagem de cima para a baixo:

- Anel do sensor indutivo;
- Conexão rápida rotativa;



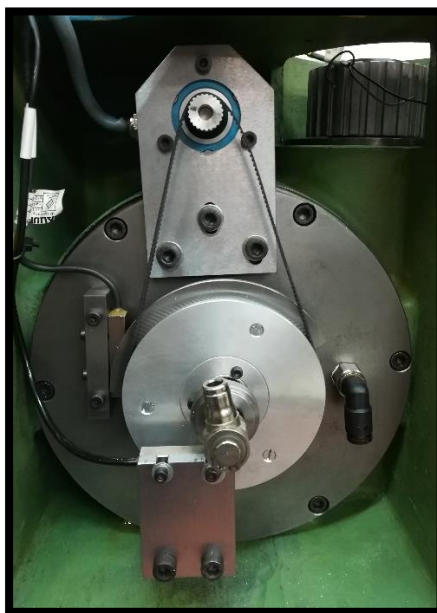
**32º** Montagem do anel do sensor indutivo e da conexão rápida rotativa.

O anel é responsável pela atuação do sensor indutivo posteriormente instalado. Desta forma o controlador consegue determinar quando a mesa esta levantada ou baixada.

A conexão rápida rotativa permite que o ar comprimido possa ser encaminhado pelo veio oco até ao conjunto de retração, forçando o prato a comprimir as molas elevando a mesa de trabalho.



**33º** Montagem do sensor indutivo (atuado pelo anel observado anteriormente) e do seu suporte em “L”.



**34º** Montagem da correia dentada do codificador.



**35º** Ligação dos cabos do motor e sua fixação à estrutura do eixo B.

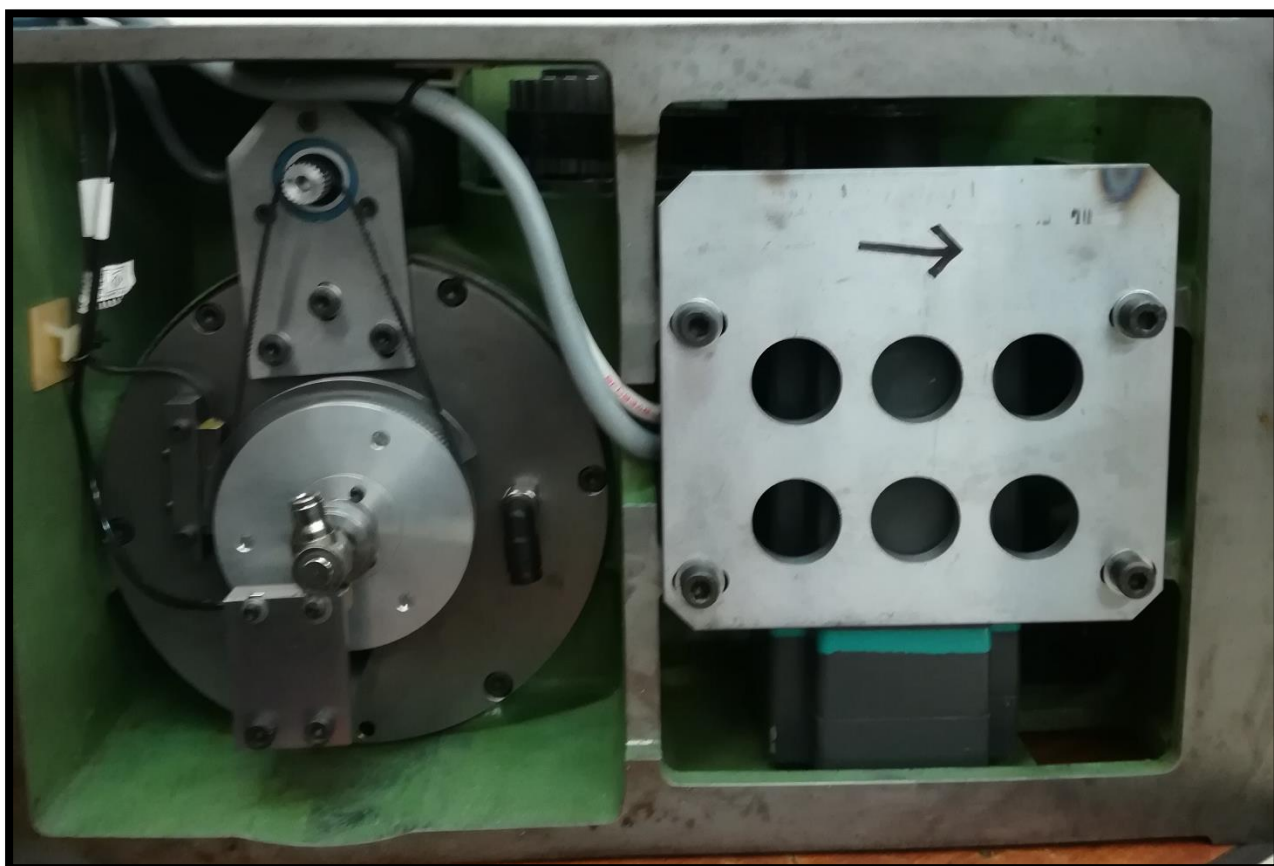


Foto do Eixo B Completamente montado.