



**Aquisição e Processamento de Dados Obtidos na
Caracterização do Desempenho de Tesouras Agrícolas**

Pedro Francisco Galvão Morado

UMINHO | 2021

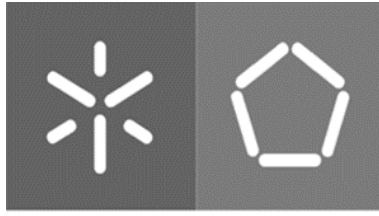


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Francisco Galvão Morado

**Aquisição e Processamento de Dados
Obtidos na Caracterização do
Desempenho de Tesouras Agrícolas**

janeiro de 2021



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Francisco Galvão Morado

**Aquisição e Processamento de Dados
Obtidos na Caracterização do
Desempenho de Tesouras Agrícolas**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Especialização em Tecnologias da Manufatura

Trabalho efetuado sob a orientação do
**Professor Doutor José Luís de Carvalho Martins
Alves**

Janeiro 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

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão ao meu orientador, o Professor Doutor José Luís de Carvalho Martins Alves, por todo o apoio e disponibilidade que teve durante o decorrer deste projeto, sem o qual a sua conclusão teria sido impossível.

De seguida à *Serafim Fertuzinhos S.A.*, sem a qual este projeto não teria sequer existido, com a qual sempre foi possível uma comunicação bastante fácil e com grande abertura, sempre dispostos a ajudar com quaisquer esclarecimentos necessários, facilitando a evolução do projeto.

Agradeço também ao Igor, em parte responsável pelo sucesso deste projeto, sendo tanto responsável pela sua conclusão como eu. Sendo este trabalho apenas um dos muitos feitos em conjunto, posso dizer que foi o mais bem sucedido, fruto da aprendizagem resultante de todos os anteriores.

À minha família, por todo o apoio dado ao longo dos anos, em especial à minha mãe, a maior responsável pelo meu sucesso ao longo destes anos e por sempre ter garantido que nunca nada faltou.

A todos os meus amigos, pelo apoio académico, sem o qual não teria chegado aqui, mas principalmente pelos bons momentos passados ao longo destes 5 anos que sem dúvida ficarão para a memória. Em especial a todo o pessoal “do prédio”, sempre presentes e maiores responsáveis pelos bons momentos passados.

Finalmente, um agradecimento especial à Francisca, maior suporte ao longo de todos estes anos, sempre presente nos bons e maus momentos, e sem a qual este percurso não seria tão especial como foi.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Com o início da comercialização dos produtos da empresa *Serafim Fertuzinhos S.A.* no mercado norte-americano, em particular das suas tesouras agrícolas para poda a uma-mão, surgiu a necessidade de a empresa caracterizar e garantir a performance de corte das mesmas no decorrer do seu ciclo de vida. Perante a inexistência comercial de máquinas capazes de efetuar tais funções, a empresa recorre ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho de forma a que este colabore no desenvolvimento de um equipamento capaz de, de forma automática e autónoma, caracterizar a performance do corte das suas tesouras de poda de uma mão, isto é, determinar a evolução da força de corte em função do número de cortes efetuados.

O desenvolvimento inicia-se com a análise dos produtos e a definição das especificações que, no passo seguinte, estruturam o desenvolvimento conceptual do equipamento, quer ao nível do desenvolvimento mecânico, quer ao nível de todo o seu sistema mecatrónico. Apresentam-se e discutem-se também os tópicos mais relevantes relacionados com: as tesouras agrícolas, onde se estudaram as diferentes gamas de tesouras; quais os testes efetuados atualmente para caracterizar o seu desempenho; expõem-se máquinas existentes que, por analogia, se possam enquadrar no funcionamento e funcionalidades pretendidos; e discute-se uma estimativa da magnitude das forças necessárias à manipulação deste tipo de tesouras.

Concluída esta análise preliminar, apresenta-se o desenvolvimento conceptual e mecânico do equipamento, que será a base para o projeto do sistema mecatrónico, sendo este o tema central discutido e analisado ao longo deste documento. Definido o material padrão a ser cortado, discutem-se todas as funções a desempenhar pelo equipamento, para desta forma se justificar as opções e caminhos que delineiam o projeto mecânico e mecatrónico finais: estrutura, funcionamento e procedimento de aquisição e processamento de dados.

Detalha-se todo o desenvolvimento do sistema mecatrónico do equipamento. São apresentados em detalhe todos os sistemas mecatrónicos, pormenorizado o seu funcionamento e discutidos os componentes a utilizar para conseguir uma total integração e funcionamento. Isto conduziu à análise de todo o sistema e respetiva montagem, instalação e conexão dos diversos componentes, abordando ainda a análise e tratamento dos resultados dos testes efetuados. Conclui-se com um balanço geral do trabalho, são sintetizadas conclusões e propostos possíveis trabalhos futuros, de seguimento e melhoria do projeto atual.

Palavras-Chave: desempenho, projeto mecatrónico, tesouras agrícolas

ABSTRACT

The beginning of the commercialization of *Serafim Fertuzinhos S. A's* products in the north american market, in particular their one-handed pruning shears, led to the necessity of the company characterizing and guaranteeing the cutting performance of such shears throughout their lifecycle. Faced with the commercial inexistence of machines capable of performing such functions, the company resorts to the *Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho*, aiming for a collaboration in the development of an equipment capable of, in an automatic and autonomous way, characterizing the cutting performance of their one-handed pruning shears, meaning, determining the evolution of the cutting force related to the number of completed cuts.

Development starts with the analysis of the products and the definition of specifications that, in the next step, will structure the conceptual development of the equipment, whether in a mechanic development or mechatronic system standpoint. Are presented and discussed the most relevant topics as well regarding: the pruning shears, where the different types of shears are studied; the tests currently performed to characterize their performance; existing machines that might have a similar function the pretended are presented; and an estimate of the magnitude of the forces needed to operate this kind of shears.

Once this initial analysis is finished, the mechanic conceptual development of the equipment is presented, which will be the basis for the project of the mechatronic system, this being the main theme discussed throughout this report. Defining the standard material to be cut, all the functions to be performed by the equipment are discussed, in order to justify the options and decisions that will outline the mechanical and mechatronic final projects: machine's structure, functioning and data acquisition and processing procedure.

The entire development of the equipment's mechatronic system is detailed. All the details regarding the mechatronic systems are presented, specifying their functioning and all the components to use to achieve a total integration and operation are discussed. This led to an analysis of the entire system and assembly, installation, and connection of all the components, also addressing the analysis and treatment of the results obtained with the tests performed. The report is concluded with a general evaluation of the work done, conclusions are drawn, and possible future works are proposed, as to follow up and improve on the current project.

Keywords: mechatronic project, performance, pruning shears

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Contextualização e Enquadramento.....	1
1.2 Motivação e Contribuição do Trabalho.....	2
1.3 Objetivos do Trabalho.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação.....	3
2. Tesouras Agrícolas – Estado da Arte.....	5
2.1 Gamas de Tesouras Agrícolas.....	5
2.1.1 Tesouras de Podar.....	5
2.1.2 Tesouras de Vindima e Colheita.....	12
2.1.3 Tesouras de Duas Mãos.....	17
2.2 Testes de Desempenho de Tesouras.....	21
2.3 Máquinas para Efetuar Ciclos Repetitivos.....	22
2.3.1 <i>CATRA - Scissors Cutting Performance Test Machine</i>	22
2.3.2 Máquinas de Testes Dinâmicos e de Fadiga.....	25
2.3.3 Mecanismo de Retorno Rápido.....	25
2.4 Força de Preensão Manual.....	26
3. Desenvolvimento Concetual e Projeto Mecânico Final do Equipamento.....	33
3.1 Caracterização do Lote de Tesouras.....	33
3.2 Materiais de Teste a Utilizar.....	37
3.3 Detalhe das Funções a Desempenhar.....	39
3.4 Projeto Mecânico Final.....	50
4. Projeto do Sistema Mecatrónico do Equipamento.....	65
4.1 Sistema de Medição de Carga.....	65

4.1.1	Métodos de Medição de Carga	65
4.1.2	Idealização do Sistema	69
4.1.3	Seleção de Componentes	70
4.2	Sistema de Atuação	73
4.2.1	Métodos de Atuação	73
4.2.2	Idealização do Sistema	79
4.2.3	Seleção de Componentes	81
4.3	Sistema de Alimentação.....	87
4.3.1	Idealização do Sistema	87
4.3.2	Seleção de Componentes	88
4.4	Sistema de Controlo.....	97
4.4.1	Controladores Lógicos Programáveis.....	99
4.4.2	Requisitos do Sistema de Controlo	100
4.4.3	Seleção de Componentes	101
5.	Montagem e Integração dos Componentes	105
5.1	Protocolos de Comunicação entre Componentes	105
5.2	Montagem das Células e Design da Plataforma	108
5.3	Instalação dos Componentes da Família SIMATIC.....	111
5.4	Montagem dos Motores Elétricos e Transmissão de Movimento	117
5.5	Montagem dos Inversores de Corrente	127
5.6	Montagem dos Sensores.....	135
5.7	Extração e Tratamento dos Dados Recolhidos.....	138
6.	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	141
	Referencias Bibliográficas	145
	Anexo I – Lista de Componentes Detalhada	151
	Anexo II – Diagrama da Instalação	159
	Anexo III – Desenhos Técnicos.....	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Logótipo das marcas Carpa Tools e Batil, da empresa Serafim Fertuzinhos S.A.....	1
Figura 2 - Tesouras de podar forjadas da marca CARPA onde se podem observar os tipos de acabamento, da esquerda para a direita: pintada, plastificada e polida. ¹	6
Figura 3 - Tesouras de podar da marca CARPA com cabo em alumínio e lamina em aço com 210 e 220 mm de comprimento, respetivamente. ¹	7
Figura 4 - Tesouras de podar com cabo polimérico, respetivamente, estampada e forjada. ¹	8
Figura 5 - Tesouras de podar da marca CARPA com cabo polimérico e lâmina cortada a laser, respetivamente, 200 e 210 mm. ¹	8
Figura 6 - Tesouras de podar com cabo em chapa, respetivamente 190 e 230 mm. ¹	9
Figura 7 - Tesouras de podar com batente e com podão, respetivamente. ¹	10
Figura 8 - Tesouras de colheita da marca CARPA forjadas de lâmina serrilhada e curva, respetivamente, com diversos tipos de revestimento das pegas. ¹	12
Figura 9 - Tesoura de colheita com cabo polimérico. ¹	13
Figura 10 - Tesouras de colheita da marca CARPA com cabo bimaterial, de laminas curvas, retas lisas e laminas retas serrilhadas. ¹	14
Figura 11 - Tesouras de colheita de chapa da marca CARPA, de lâmina curva e de lâmina reta, respetivamente. ¹	14
Figura 12 – Tesouras de colheita de alho forjada com lamina curva, forjada com lâmina reta, e com pega polimérica, respetivamente. ¹	15
Figura 13 - Tesourão de floresta da marca CARPA com 680 mm de comprimento. ¹	17
Figura 14 - Tesourões de poda com pega em alumínio da marca CARPA, onde à direita se apresentam as tesouras com desmultiplicador de força e batente em alumínio forjado. ¹	18
Figura 15 - Tesourão telescópico da marca CARPA, com 950 mm, de comprimento. ¹	18
Figura 16 – CATRA, Scissors Cutting Performance Test Machine, em funcionamento durante um teste de uma tesoura para corte de papel. ¹	25
Figura 17 – Esquematização do mecanismo de acionamento normalmente presente no limador mecânico.	26
Figura 18 – Dinamómetro de mão analógico JAMAR. ⁴	28

Figura 19 - Representação esquemática de uma tesoura, onde se caracterizam as medidas mais relevantes para este projeto, em que a é a distância entre a lamina e o centro de rotação, b é a distância entre o centro de rotação e o final do cabo e por fim c é a amplitude da tesoura. ⁷	34
Figura 20 Modelação 3D da estrutura da máquina.	50
Figura 21 - Modelação 3D do sistema de medição de carga inserido na máquina.	51
Figura 22 - Modelação 3D do sistema de atuação.	53
Figura 23 - Detalhe da modelação 3D do mecanismo de atuação das tesouras.....	54
Figura 24 - Pormenor da came rotativa e dos encaixes para a barra horizontal.	55
Figura 25 - Modelação 3D do sistema de alimentação da máquina.....	57
Figura 26 - Sistema de armazenamento e regulação de fluxo de varões de teste.....	58
Figura 27 - Componente regulador de passagem de varões de corte.	59
Figura 28 - Detalhe da montagem do motor elétrico e sensor de passagem.	59
Figura 29 - Mecanismo de alimentação das tesouras.	60
Figura 30 - Rolo cónico de deslize dos varões de corte.	60
Figura 31 - Pormenor da secção final do sistema de alimentação.	61
Figura 32 – Equipamento da marca Beethefirst utilizado para a impressão do protótipo do conceito desenvolvido.....	63
Figura 33 – Protótipo, impresso em PLA, do sistema de acionamento.	63
Figura 34 - Representação esquemática do funcionamento de uma célula de carga hidráulica. ¹³	66
Figura 35 - Representação esquemática do funcionamento de uma célula de carga pneumática. ¹⁵	67
Figura 36 - Disposição do fio condutor de um extensómetro. ¹⁷	68
Figura 37 - Disposição de uma célula de carga e de uma ponte de Wheatstone.	68
Figura 38 - Representação esquemática de um cilindro hidráulico de ação simples. ²⁸	75
Figura 39 - Representação esquemática de um atuador hidráulico de dupla ação. ²⁸	76
Figura 40 - Representação esquemática da construção de um motor elétrico básico. ³⁰	78
Figura 41 - Exemplo de interruptores SIRIUS e os seus atuadores.	96
Figura 42 - Sensor número 1 e sua localização no contexto da máquina. ⁴²	96
Figura 43 - Sensor número 2 e sua localização no contexto da máquina. ⁴²	97
Figura 44 - Diagrama de ligação dos componentes PROFINET.....	107
Figura 45 - Cabo e conector a serem utilizados para as conceções PROFINET. ^{50,51}	108
Figura 46 – Representação da plataforma inserida no contexto da máquina.	109
Figura 47 – Montagem da plataforma de pesagem nas células.	110

Figura 48 - Célula de carga e respetivo desenho representativo.	110
Figura 49 - Rail de montagem SIMATIC. ⁵³	111
Figura 50 - Conector em U SIMATIC. ⁵⁴	112
Figura 51 – Processo de montagem da fonte de alimentação.....	113
Figura 52 - Ligação da fonte de alimentação de corrente à rede elétrica.	114
Figura 53 – Processo de montagem do módulo de controlo.	114
Figura 54 - Montagem final dos componentes SIMATIC.	115
Figura 55 - Conexão elétrica entre fonte de alimentação de corrente e módulo de controlo.	116
Figura 56 – Posição do conector para montagem dos cabos necessários.	117
Figura 57 - Posição final do conector.	117
Figura 58 - Veio de transmissão de movimento dos servomotores elétricos.....	119
Figura 59 - Representação dos três veios a ser movimentados.	119
Figura 60 - Componente de ligação 6-14 mm.....	120
Figura 61 - Montagem Provisória dos motores.....	121
Figura 62 - Secção frontal do servomotor.	122
Figura 63 - Localização dos dois primeiros motores.	122
Figura 64 - Localização do terceiro motor.....	123
Figura 65 - Suporte dos primeiros dois motores.	123
Figura 66 - Suporte do terceiro motor.	124
Figura 67 - Montagem final dos servomotores.	125
Figura 68 - Motor principal do sistema de atuação.	125
Figura 69 - Posicionamento e fixação do motor na estrutura da máquina.....	126
Figura 70 - Representação da transmissão de movimento do motor principal para o sistema de atuação.	127
Figura 71 - Local de conexão do motor, cabo de alimentação e resistor de travagem. ⁵⁶	128
Figura 72 - Comparação da conexão estrela e conexão triângulo.	129
Figura 73 - Processo de montagem da unidade de controlo na fonte de alimentação de corrente.....	130
Figura 74 - Montagem final do controlador de frequência SINAMICS G120.	130
Figura 75 - Portas de conexão da unidade de controlo.....	131
Figura 76 - Representação de um cabo Motion-Connect. ⁵⁷	132
Figura 77 - Processo de conexão do motor ao cabo Motion-Connect. ⁵⁷	132
Figura 78 - Representação de todas as interfaces existentes no controlador S210. ³⁸	133

Figura 79 - Conexão do controlador à rede elétrica.....	134
Figura 80 - Conexão da fonte de alimentação de 24V.....	134
Figura 81 - Entrada e saída de corrente elétrica da fonte de alimentação. ⁵⁸	135
Figura 82 - Localização de ambos os sensores de posição.....	136
Figura 83 - Mecanismo de fixação do sensor.....	137
Figura 84 - Modelação 3D de ambos os suportes de sensores.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as várias tesouras de Podar	11
Tabela 2 - Comparação entre as várias tesouras de colheita	16
Tabela 3 - Comparação entre as várias tesouras de duas mãos	20
Tabela 4 - Valores médios de força de prensão manual para indivíduos norte americanos. ⁵	29
Tabela 5 – Intervalo de valores, em função da idade, para a força de prensão manual de indivíduos australianos. ⁵	29
Tabela 6 - Valores médios, em função da idade, para a força de prensão manual de indivíduos espanhóis. ⁵	29
Tabela 7 - Valor médio e intervalo de valores, em função da idade, para a força de prensão manual de indivíduos iranianos. ⁶	30
Tabela 8 - Lote de tesouras fornecidas pela Serafim Fertuzinhos S.A., da marca Carpa Tools para o desenvolvimento de um equipamento para o seu teste, com a respetiva letra de identificação.	35
Tabela 9 - Medidas relevantes de cada uma das tesouras.	36
Tabela 10 - Materiais de teste considerados para o projeto. ^{8 9 10}	38
Tabela 11 - Posição dos encaixes relativos a cada um dos intervalos de amplitude definidos.....	55
Tabela 12 – Lista completa de componentes.	143

1. INTRODUÇÃO

Serve a presente dissertação fazer a exposição de todo o trabalho realizado ao longo do desenvolvimento do projeto “*Aquisição e Processamento de Dados Obtidos na Caracterização do Desempenho de Tesouras Agrícolas*”. Este projeto insere-se no âmbito da dissertação de mestrado do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, cujo trabalho foi realizado em parceria com a empresa *Serafim Fertuzinhos, S.A.*

Neste capítulo inicial irá apresentar-se de forma geral o tema, fazendo uma contextualização e enquadramento do mesmo, tanto no contexto da empresa, como no que toca às áreas científicas nas quais este se integra. Serão ainda enumerados os objetivos aos quais se pretende corresponder ao longo do desenvolvimento desta dissertação, terminando com uma exposição da sua estrutura completa de modo a facilitar a leitura da mesma.

1.1 Contextualização e Enquadramento

A *Serafim Fertuzinhos S.A.* é uma empresa fundada em 1958 e presente nos cinco continentes, que se dedica quase exclusivamente ao fabrico de tesouras. Retrata-se como uma empresa de cariz familiar que começou pelo fabrico de facas e navalhas, dirigidas para as antigas colónias portuguesas e que, com o 25 de abril de 1974, se direcionou para o fabrico de tesouras agrícolas, criando assim a marca *Carpa Tools*. Em 2011 a empresa lança uma nova marca, a *Batil*, direcionada para o fabrico de tesouras para as indústrias têxtil, hoteleira e estética. Apresentam-se na Figura 1 os logótipos destas duas marcas.



Figura 1 - Logótipo das marcas Carpa Tools e Batil, da empresa Serafim Fertuzinhos S.A..

A *Serafim Fertuzinhos S.A.* possui diversos processos de produção, de entre as quais se destacam o corte a laser de chapa, centro de maquinação CNC, prototipagem rápida, moldes e produção de *blisters*, estampagem a frio, gravação a laser e injeção polimérica. Esta variedade de processos disponível garante uma grande autonomia de produção à empresa, permitindo que esta seja capaz produzir internamente praticamente todos os componentes que constituem os produtos do seu catálogo.

A empresa tem assumido uma postura de crescimento contínuo e tem como principal missão *“Desenvolver, produzir e comercializar tesouras e outras ferramentas para as mais variadas finalidades, com tecnologia inovadora. Procurando sempre a melhoria do produto e satisfação do cliente. Contribuindo para o incremento da produtividade, respeitando o indivíduo, a sociedade e o meio ambiente.”* Culminando isto numa constante procura de automação, controlo e otimização dos seus processos, sendo nesta vertente evolutiva que se enquadra o tema desta dissertação.

Esta constante procura de melhoria contínua e evolução cria na empresa a necessidade de otimizar todos os seus processos, indo desde a produção das tesouras até à análise da sua performance. Para tal, é necessário criar um equipamento capaz de testar e simular o funcionamento normal das tesouras, ou seja, simular o corte, com estas, de material. Este equipamento terá de ser capaz de produzir cortes simultâneos e repetitivos com intervenções mínimas de operadores, de ser adaptável às diferentes tesouras produzidas pela empresa e de obter e analisar os dados relativos à força de corte.

1.2 Motivação e Contribuição do Trabalho

A necessidade, por parte da *Serafim Fertuzinhos S.A.*, de testar as tesouras intensificou-se com a sua recente entrada no mercado norte americano, dado que este requer um documento técnico, por parte da entidade fornecedora, com informações técnicas relativas à durabilidade e fiabilidade das tesouras.

Posto isto, surge assim a necessidade de a empresa testar as tesouras produzidas, avaliando a durabilidade do respetivo gume cortante e analisar quantos cortes esta consegue produzir sem que a força de corte aumente significativamente, o que reflete o número de ciclos a que a tesoura pode ser submetida sem necessidade de afiamento da mesma.

A outra vertente deste projeto contribui para a melhoria contínua das tesouras produzidos pela empresa. Os dados obtidos pela máquina de testes permitem à empresa avaliar a influência dos designs da lamina e do tipo de cabo de cada tesoura, fornecendo assim dados que serviram de base ao departamento de otimização, garantindo que as marcas *Carpa Tools* e *Batil* continuam no topo do mercado.

1.3 Objetivos do Trabalho

O título desta dissertação define-se com sendo “*Aquisição e Processamento de Dados Obtidos na Caracterização do Desempenho de Tesouras Agrícolas*”, o que revela a necessidade de desenvolver todo um projeto de construção de um sistema mecatrónico capaz de efetuar esta aquisição e processamento de dados, para posteriormente ser inserido num equipamento de teste.

Sendo este o objetivo maioritário do projeto, será também necessário que sejam abordados os métodos através dos quais isto será conseguido. Pretendendo-se que a máquina seja capaz de simular autonomamente o funcionamento de tesouras agrícolas, produzir cortes repetitivos e controlados e garantir um fornecimento automático de material a cortar, será necessário também desenvolver sistemas para que sejam capazes de desempenhar estas funções da maneira correta. É requerido ainda que esta máquina possua a capacidade de ser adaptável aos diferentes modelos de tesouras da marca *Carpa Tools*.

Sendo o foco deste trabalho a exposição do projeto mecatrónico referente ao equipamento desenvolvido, será este o foco principal, no entanto, ao longo do trabalho serão referidas, de maneira generalizada, partes do desenvolvimento mecânico da estrutura e mecanismos da máquina, pois entender o funcionamento destes será essencial para entender o funcionamento da máquina.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho irá dividir-se em 6 capítulos denominados de: introdução, estado da arte, desenvolvimento concetual do equipamento, projeto detalhado do sistema mecatrónico, montagem e integração dos componentes, terminando com uma breve conclusão e análise de potências trabalhos futuros.

O primeiro capítulo de introdução tem como objetivo fazer uma breve contextualização e enquadramento do trabalho, clarificando qual a motivação e a contribuição do mesmo, especificando quais os objetivos a cumprir e por fim enuncia a sua estrutura e conteúdo.

O segundo capítulo diz respeito ao estado da arte, onde são apresentados conceitos, produtos e tecnologias existentes que são importantes para este projeto, ajudando no desenvolvimento do mesmo. Isto irá passar por uma exposição das tesouras agrícolas existentes, do método que se utiliza atualmente para o teste das tesouras, análise a algumas máquinas já existentes no mercado, estudo da força que o ser humano é capaz de fechar aquando do fecho de uma tesoura.

Passando ao terceiro capítulo, aqui irá ser feito o desenvolvimento conceptual do equipamento, que irá consistir numa análise e definição de todas as variáveis relevantes para o seu funcionamento,

clarificando assim os requisitos para o mesmo. Isto irá passar por analisar o lote de tesouras utilizado para o desenvolvimento do projeto, a definição do material de teste a utilizar, um detalhamento das funções que a máquina terá de desempenha e variáveis que terá de medir e registar.

Posto isto, segue-se o capítulo 4 que trata do projeto detalhado do equipamento e do sistema mecatrónico. Para isto começou por expor-se o funcionamento geral da máquina, fazendo a sua divisão em sistemas mediante o objetivo do funcionamento do mesmo, pelo que se seguiu com a idealização do funcionamento destes mesmos sistemas, e a seleção dos componentes a utilizar para que a máquina desempenhe estas funções corretamente.

Durante o capítulo 5 irá então abordar-se a montagem e integração destes componentes no contexto da máquina, passando isto por analisar a conexão dos mesmos e os respetivos protocolos utilizados para este efeito, bem como a montagem mecânica dos mesmos na estrutura da máquina. Termina-se este capítulo com uma análise ao método de extração, registo e tratamento dos dados resultantes dos testes efetuados, de modo a entender como podem ser obtidos resultados concretos a partir dos mesmos.

Por último, no capítulo 6 irá sumariar-se as principais conclusões que foi possível obter ao longo do trabalho desenvolvido, fazendo também uma listagem de possíveis soluções e trabalhos a desempenhar futuramente de modo a aperfeiçoar o trabalho realizado e dar seguimento ao mesmo.

2. TESOURAS AGRÍCOLAS – ESTADO DA ARTE

De um modo geral, todo e qualquer projeto carece de uma análise ao seu meio envolvente. Isto é, para que se consiga obter uma base de conhecimentos fundamentada é necessário avaliar os conceitos e produtos envolventes e existentes e respetivas alternativas.

No caso da máquina de análise da performance de tesouras agrícolas, existem alguns temas que são de realçar, destacando as tesouras agrícolas da marca *Carpa Tools*, os equipamentos previamente existentes capazes de efetuar ciclos repetitivos, os testes realizados atualmente às tesouras, dados relativos à força máxima exercida no corte com uma só mão e ainda os tipos de materiais passíveis de utilização. Ao longo deste capítulo serão aprofundados esses mesmos temas.

2.1 Gamas de Tesouras Agrícolas

As tesouras agrícolas da marca *Carpa Tools*, em particular, são um dos principais componentes para este projeto. É em torno deste produto que será efetuado todo o processo de projeto e construção de um equipamento para testes. Como tal, torna-se imprescindível uma análise cuidadosa em torno dos diversos modelos que a empresa *Serafim Fertuzinhos S.A.* disponibiliza aos seus clientes sobre a forma de esta marca.

Estas tesouras dividem-se em três grandes grupos direcionados para a área agrícola ¹, sendo estes:

- Tesouras de podar;
- Tesouras de vindima e colheita;
- Tesouras de duas mãos.

2.1.1 Tesouras de Podar

O primeiro tipo de tesouras a analisar serão as tesouras de podar. Estas são utilizadas, como o próprio nome indica para a poda de videiras, de árvores de fruto ou arbustos que assim necessitem. A poda define-se como sendo o corte ou desbaste de certas extremidades de uma planta que sejam desnecessárias ao correto crescimento das mesmas. Pode ser efetuada com o intuito de favorecer a colheita de frutos, o crescimento da planta ou até mesmo simplesmente para efeitos estéticos.

Dentro deste grande tipo, as primeiras que se apresentam são as tesouras de podar forjadas. Estas são tipicamente fabricadas em aço ao carbono, sendo a pega e a lâmina um componente único, podendo ser pintadas, plastificadas ou apenas polidas. Quanto às tesouras pintadas, é utilizado nestas um tipo de tinta eletrostática para revestir as suas partes exteriores. A tinta, para além do aspeto estético, permite também retardar processos de oxidação do metal. De uma forma semelhante, as tesouras plastificadas possuem uma camada polimérica que reveste toda a pega da tesoura. Contrariamente, as tesouras polidas não possuem qualquer tipo de revestimento externo, sendo apenas submetidas a um processo de polimento ao longo de toda a pega e partes exteriores. Na Figura 2 podem observar-se estes três tipos de tesouras.

Estas apresentam-se em modelos com comprimento entre os 190 e os 260 mm e permitem a substituição, em caso de falha, do parafuso do eixo, da mola, do batente ou do fecho.



Figura 2 - Tesouras de podar forjadas da marca CARPA onde se podem observar os tipos de acabamento, da esquerda para a direita: pintada, plastificada e polida. ¹

Outro tipo de tesouras inserido neste grande grupo, são as tesouras de podar com cabo em alumínio. Estas, como o nome sugere, possuem pegas fabricadas a partir de uma liga de alumínio, sendo diferenciadas das tesouras de aço forjadas, principalmente, no *design* mais ergonómico, na massa do

produto e pelo facto de a lâmina e o cabo não serem uma peça única. A lâmina é fabricada a partir de aço ao carbono, pois favorece a durabilidade do gume cortante.

Neste tipo de tesouras, a pega encontra-se coberta com um revestimento de borracha que facilita a utilização da tesoura, aumentando a aderência do cabo. Este modelo permite a substituição da lâmina e contra lâmina, parafuso do eixo, fecho e mola.

São disponibilizados dois modelos de diferentes tamanhos, um com 210 e outro com 220 mm, os quais podem ser analisados na Figura 3.



Figura 3 - Tesouras de podar da marca CARPA com cabo em alumínio e lâmina em aço com 210 e 220 mm de comprimento, respetivamente. ¹

Seguem-se as tesouras de podar com cabo em polímero. Como o próprio nome indica, estas possuem uma pega polimérica com um formato ergonómico.

Estas tesouras são fornecidas pela CARPA em três modelos diferentes, onde a maior diferença é o fabrico das lâminas. O primeiro modelo possui lâminas produzidas através da estampagem de chapas de aço carbono, o segundo modelo através do forjamento de aço carbono, enquanto que no terceiro modelo estas são obtidas através de corte a laser de chapas de aço carbono.

Quanto aos modelos de lâmina estampada ou forjada, podemos observar que a lâmina e a pega são componentes independentes pelo que se pode proceder à sua substituição em caso de mau funcionamento. Neste tipo de tesouras podem também trocar-se o parafuso do eixo, os parafusos que acoplam a lâmina à pega, o fecho, a mola e o batente.

Tanto o modelo de lâmina estampada como o de lâmina forjada são disponibilizados nos tamanhos de 200 e 230 mm, os quais podem ser observados na Figura 4.



Figura 4 - Tesouras de podar com cabo polimérico, respetivamente, estampada e forjada. ¹

No que toca às tesouras com lâmina cortada a laser, a pega é fabricada através da injeção de um polímero, ficando esta e a lâmina acopladas. Deste modo, não existe a possibilidade de efetuar a troca da lâmina. Podem, no entanto, substituir-se o parafuso do eixo, a mola e o fecho. São disponibilizadas nos tamanhos de 200 e 210 mm, podendo estes ser observados na Figura 5.



Figura 5 - Tesouras de podar da marca CARPA com cabo polimérico e lâmina cortada a laser, respetivamente, 200 e 210 mm. ¹

Existe ainda um modelo detentor de um cabo em chapa, sendo este manufaturado através de um processo de estampagem. Possui uma lâmina em aço carbono, a qual é acoplada na chapa através de rebites. Sendo um modelo bastante simplista, o único elemento que é passível de substituição é a mola da tesoura. São disponibilizados em dois comprimentos, 190 e 230 mm, os quais podem ser observados na Figura 6.



Figura 6 - Tesouras de podar com cabo em chapa, respetivamente 190 e 230 mm. 1

Por último, são apresentados dois modelos especiais de tesouras de podar. Uma tesoura de podar com batente, e uma tesoura de podar com podão.

Quanto ao primeiro modelo, este apresenta um cabo polimérico injetado bastante ergonómico, com lâmina em aço carbono cortada a laser. Este tipo de tesoura é tipicamente utilizado para cortar ramos secos ou muito duros, garantindo um corte mais limpo graças ao batente, sendo disponibilizada no tamanho de 210 mm. Permite a substituição do batente e respetivo parafuso, do parafuso do eixo, da mola e do fecho.

A tesoura de podar com podão é bastante semelhante às tesouras de podar forjadas, sendo fabricada na totalidade em aço ao carbono, através de um processo de forjamento, com uma posterior pintura eletrostática. No entanto difere do modelo tradicional pois apresenta, na parte traseira da lâmina uma pequena foice para o corte de galhos. É fornecida no tamanho de 260 mm, permitindo a substituição







do parafuso do eixo, da mola, do batente e do fecho. Na Figura 7 podem observar-se ambos estes modelos.



Figura 7 - Tesouras de podar com batente e com podão, respetivamente. ¹

Apresenta-se, por último, na Tabela 1, uma síntese de toda a informação referida anteriormente, de modo a melhor ser possível efetuar uma comparação entre os vários modelos referidos.

Tabela 1 – Comparação entre as várias tesouras de Podar

Tesouras de podar	Material da Pega	Material da Lâmina	Tamanho (mm)	Componentes Substituíveis
 Forjadas	Aço ao carbono forjado com revestimento pintado, plastificado ou polido	Aço ao carbono forjado	190 a 260	Parafuso do eixo, mola, batente, fecho
 Cabo em Alumínio	Liga de Alumínio com revestimento de borracha	Aço ao carbono forjado	210 a 220	Lâmina, contra lâmina, paraus do eixo, fecho, mola
 Cabo em Polímero	Material Polimérico	Aço ao carbono estampado, forjado ou cortado a laser	200 a 230	Lâmina, contra lâmina, parafuso da lâmina (exceto com lâmina cortada a laser), parafuso do eixo, fecho, mola e batente
 Cabo em chapa	Chapa de aço estampada	Aço ao Carbono	190 a 230	Mola
 Com Batente	Material Polimérico	Aço ao carbono cortado a laser	210	Batente, parafuso do eixo, mola e fecho
 Com podão	Aço ao carbono forjado	Aço ao carbono forjado	260	Parafuso do eixo, mola, batente e fecho

2.1.2 Tesouras de Vindima e Colheita

Um outro grande grupo de tesouras apresentado no catálogo da CARPA são as tesouras de vindima e colheita, sendo que estas, quando comparadas com as analisadas anteriormente são, tipicamente, mais pequenas. Este modelo não se utiliza para o corte de ramos ou galhos, mas sim para a colheita dos produtos resultantes do crescimento destas plantas ou árvores. Os maiores consumidores deste tipo de tesoura são as indústrias da vindima e da apanha da fruta.

O primeiro tipo de tesoura de colheita que se apresenta são as tesouras de colheita forjadas. Da mesma forma que as tesouras de poda, a sua construção é feita em aço ao carbono. A pega e a lâmina constituem apenas um componente, podendo possuir pegas revestidas com uma pintura electrostática, pegas plastificadas, ou polidas. Podem ainda apresentar dois tipos distintos de lâmina, curva ou serrilhada, que vão permitir dois tipos de corte diferente.

O primeiro modelo é disponibilizado apenas com 180 mm de comprimento, enquanto que o segundo modelo é disponibilizado com 190 mm. É ainda de referir que estas tesouras permitem efetuar a substituição do parafuso do eixo, da mola, do batente e do fecho, podendo na Figura 8 ser observados estes dois modelos.



Figura 8 - Tesouras de colheita da marca CARPA forjadas de lâmina serrilhada e curva, respetivamente, com diversos tipos de revestimento das pegas.¹

O segundo tipo de tesouras de colheita considerados são as tesouras de colheita com cabo polimérico. Estas são disponibilizadas com três tipos de lâmina diferente, podendo esta ser curva, reta de pontas aguçadas ou reta de pontas curvas.

Este modelo possui a particularidade de ser sempre fabricado em aço carbono cortado a laser, sendo os dos primeiros modelos fornecidos com 180 mm de comprimento, enquanto que o terceiro modelo é fornecido com 170 mm. Este tipo de tesouras permite a substituição do parafuso do eixo, da mola e do fecho, podendo estes três modelos ser observados na Figura 9.



Figura 9 - Tesoura de colheita com cabo polimérico. 1

As tesouras de colheita podem também ser fornecidas com cabo bimatéria. Estas distinguem-se por ser dotadas de pegas fabricadas em dois materiais. O corpo maioritário, das tesouras de colheita em análise, é constituído por um material polimérico, possuindo na parte exterior uma cobertura de borracha. Este revestimento em borracha no local onde as tesouras são agarradas permite uma maior aderência e conseqüente segurança e facilidade de manuseamento.

As tesouras com este tipo de cabo são fabricadas com três tipos de lâminas diferentes, lâminas curvas, lâminas retas lisas, e lâminas retas serrilhadas, todas fabricadas em aço inox. Os dois primeiros modelos são vendidos em comprimentos de 190 mm, enquanto que o último é vendido com 170 mm. Todos permitem a substituição do parafuso do eixo, da mola e do fecho, podendo ser observados na Figura 10 estes três tipos de tesoura.



Figura 10 - Tesouras de colheita da marca CARPA com cabo bimaterial, de lâminas curvas, retas lisas e lâminas retas serrilhadas. ¹

Seguem-se as tesouras de colheita com cabo em chapa, que são produzidas totalmente em aço inox, quer no que toca ao cabo, quer à lâmina. A lâmina e as pegas são obtidas através do processo de estampagem, sendo estas posteriormente rebitadas entre si. Estas tesouras possuem a particularidade de ter um revestimento de borracha no cabo, o que promove uma maior aderência no momento de corte.

São modelos bastante simples, que permitem apenas a substituição da mola. Este modelo é disponibilizado com lâmina curva, medindo 170 mm, ou com lâmina reta, medindo 180 mm, de comprimento, podendo ambos ser observado na Figura 11.



Figura 11 - Tesouras de colheita de chapa da marca CARPA, de lâmina curva e de lâmina reta, respetivamente. ¹

Por fim, no que toca a este tipo de produtos, têm-se as tesouras para a colheita de alho. Estas possuem uma construção semelhante às mencionadas anteriormente, distinguindo-se no formato da lâmina. São disponibilizados dois modelos fabricados em aço ao carbono forjado e com revestimento de pintura eletrostática. Este modelo possui duas vertentes, com lâmina curva medindo 190 mm, e com lâmina reta medindo 240 mm. É ainda fabricado e distribuído um modelo com pega em polímero, com lâmina em aço carbono cortado a laser medindo 190 mm.






Todos estes modelos permitem a substituição do parafuso do eixo, da mola e do fecho, permitindo ainda a substituição do batente, nas tesouras forjadas. Todos os modelos das tesouras para a colheita de alhos podem ser observados na Figura 12.



Figura 12 – Tesouras de colheita de alho forjada com lâmina curva, forjada com lâmina reta, e com pega polimérica, respetivamente. ¹

Apresenta-se, por último, na Tabela 2, uma síntese de toda a informação referida anteriormente, de modo a melhor ser possível efetuar uma comparação entre os vários modelos referidos.

Tabela 2 - Comparação entre as várias tesouras de colheita

Tesouras de colheita	Material da Pega	Material da Lâmina	Tamanho (mm)	Componentes Substituíveis
 <p>Forjadas</p>	Aço ao carbono com revestimento pintado, plastificado ou polido	Aço ao carbono forjado, lâmina curva ou serrilhada	180 a 190	Parafuso do eixo, da mola, do batente e do fecho
 <p>Cabo polimérico</p>	Material polimérico	Aço ao carbono cortado a laser com lâmina curva, reta de pontas aguçadas ou pontas curvas	170 a 180	Parafuso do eixo, da mola e do fecho
 <p>Cabo bimaterial</p>	Material Polimérico com cobertura de borracha	Aço inox com lâmina curva, reta lisa ou reta serrilhada	170 a 190	Parafuso do eixo, da mola e do fecho
 <p>Cabo em chapa</p>	Aço inox estampado com revestimento de borracha	Aço inox estampado com lâmina curva ou lâmina reta	170 a 180	Mola
 <p>Para colheita de alho</p>	Aço ao carbono forjado / Material polimérico	Aço ao carbono forjado com lâmina curva ou lâmina reta / Aço ao carbono cortado a laser	190 a 240	Parafuso do eixo, da mola e do fecho e batente (apenas para forjadas)

2.1.3 Tesouras de Duas Mãos

O último tipo de produto a ser apresentado são as tesouras de duas mãos, que embora não tenham sido consideradas para o desenvolvimento da máquina para testes serão, futuramente, parte de uma adaptação desta. Um dos objetivos da empresa é testar todos os seus modelos de tesouras. Assim sendo, torna-se pertinente mencionar estes modelos, dada a sua importância para o futuro desenvolvimento.

Estas tesouras caracterizam-se por ser bastante maiores, quando comparadas a todos os modelos anteriores, permitindo fazer cortes de muita maior dimensão e exigência. Este aumento do poder de corte da tesoura torna-as indicadas, não para a poda convencional, mas para aplicações mais direcionadas para o uso florestal ou corte de grandes ramos que as tesouras de poda convencionais não têm capacidade de completar.

O primeiro modelo de tesouras para duas mãos do catálogo da CARPA é denominado por tesourão de floresta, todo ele fabricado em aço ao carbono forjado, de elevada resistência, desde as lâminas às pegas, possuindo mangas de borracha no local de aperto para facilitar a sua manipulação. Este é dos modelos de tesouras de duas mãos mais robustos que a empresa produz, sendo indicado para aplicações florestais de grande demanda. É produzido com o comprimento de 680 mm, permitindo a substituição da lâmina e contra lâmina, do parafuso do eixo e dos parafusos de aperto dos cabos e pode ser analisado na Figura 13.

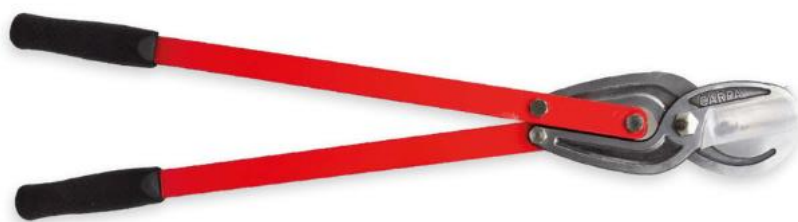


Figura 13 - Tesourão de floresta da marca CARPA com 680 mm de comprimento. ¹

De seguida, são disponibilizados três modelos semelhantes, sendo estes chamados de tesourões de poda com pega em alumínio e distinguindo-se pelo formato da lâmina, podendo esta ser passante, com batente curvo ou com batente reto. Todos possuem lâminas forjadas em aço ao carbono e pegas em alumínio ultraleve. Os dois últimos modelos possuem batentes forjados em alumínio, e um desmultiplicador na haste, que permite a variação do esforço efetuado no processo de corte.

O tesourão de lâmina passante permite a substituição do parafuso do eixo, batente de fecho e parafuso de fixação da lâmina. Quanto aos dois modelos restantes, estes permitem a troca da lâmina, do parafuso do eixo, do batente da lâmina e do parafuso do desmultiplicador. Todos estes modelos são disponibilizados em tamanhos de 400 mm a 1000 mm, podendo ser observados na Figura 14.



Figura 14 - Tesourões de poda com pega em alumínio da marca CARPA, onde à direita se apresentam as tesouras com desmultiplicador de força e batente em alumínio forjado. ¹




O último modelo apresentado é o tesourão telescópico, caracterizado por possuir pegas telescópicas extensíveis, que permitem aumentar o tamanho da tesoura de modo a alcançar galhos mais altos ou distantes de difícil acesso. Este aumento do comprimento das pegas permite também aumentar a alavanca e efetuar cortes com menor esforço. Este modelo possui uma lâmina em aço ao carbono e pegas poliméricas pintadas, permitindo a substituição do parafuso do eixo e do batente de fecho. É disponibilizado com um comprimento de 950 mm e pode ser observado na Figura 15.



Figura 15 - Tesourão telescópico da marca CARPA, com 950 mm, de comprimento. ¹

Apresenta-se, por último, na Tabela 3, uma síntese de toda a informação referida anteriormente, de modo a melhor ser possível efetuar uma comparação entre os vários modelos referidos.

Tabela 3 - Comparação entre as várias tesouras de duas mãos

Tesouras de duas mãos	Material da Pega	Material da Lâmina	Tamanho (mm)	Componentes Substituíveis
 <p>Tesourão de Floresta</p>	Aço ao carbono forjado com mangas de borracha	Aço ao carbono forjado	680	Lâmina e contra lâmina, parafuso do eixo e parafusos de aperto dos cabos
 <p>Tesourão de poda</p>	Liga de alumínio ultraleve	Aço ao carbono forjado com lamina passante, com batente curvo ou batente reto	400 a 1000	Parafuso do eixo, batente de fecho e parafuso de fixação da lâmina, batente da lâmina
 <p>Tesourão telescópico</p>	Pegas poliméricas telescópicas extensíveis	Aço ao carbono	950	Parafuso do eixo e batente de fecho

2.2 Testes de Desempenho de Tesouras

Sendo o objetivo fundamental da máquina a desenvolver a automatização de um processo que permita avaliar o desempenho das diversas tesouras disponibilizadas pela empresa, torna-se necessário analisar, caso estes existam, quais os métodos atualmente empregados pela mesma para desempenhar esta função.

No caso da *Serafim Fertuzinhos S.A.*, embora efetuados de maneira rudimentar, estes testes existem. Estando a empresa localizada num ambiente rural, rodeada por diversos campos de cultivo, muitos dos quais possuem vinhas ou outro tipo de plantas que precisem de poda, os testes efetuados pela empresa passam por fornecer os indivíduos responsáveis pela exploração destes campos com as tesouras fabricadas, ficando estes responsáveis por dar uso às mesmas e, posteriormente, comunicar à empresa qual o desempenho que a tesoura teve, quando comparada com os restantes modelos.

Embora não seja um método detentor de uma base científica específica, este é baseado nos imensos anos de experiência que a maior parte destes indivíduos possui. Esta imensa experiência faz com que estes indivíduos possuam uma sensibilidade no que toca ao uso de tesouras agrícolas, que a maioria das pessoas comuns ou fora do ramo não detém, podendo as suas observações e recomendações ser utilizadas como guia para melhoria dos modelos existentes, bem como no desenvolvimento de novos modelos e novos produtos.

No entanto, existem também contratempos que podem fazer com que estes testes não sejam válidos, ou que retornem resultados significativos, principalmente dada a grande suscetibilidade destes a fatores externos ou erro humano. Diferentes indivíduos terão, após bastantes anos de trabalho, preferências diferentes no que diz respeito ao tipo de tesoura a utilizar, pelo que as opiniões dispostas podem não ser coerentes.

Da mesma maneira, nunca sendo possível utilizar as tesouras em condições repetíveis de forma consistente, irá ser bastante difícil avaliar, de forma coerente, todos os tipos de tesoura, pois podem, por exemplo, ser efetuados cortes mais difíceis com um modelo, e posteriormente cortes mais fáceis com um segundo, o que irá sempre favorecer a segunda tesoura.

Para além de todos estes fatores, o que torna ainda mais impraticável continuar com este tipo de testes, é estes serem meramente empíricos, não produzindo um resultado de base científica, que torne possível comparar, de forma inequívoca, os diferentes modelos de tesouras. A necessidade de a empresa associar a cada um dos modelos de tesouras um valor capaz de refletir de forma clara o desempenho

das tesouras, invalida completamente a utilização destes testes manuais, dado que isto nunca será conseguido nessas condições, pois existem demasiadas variáveis não controladas.

Estes testes poderão, claro, continuar a ser utilizados como forma de a empresa receber um *feedback* rápido de utilização das tesouras para prosseguir com o desenvolvimento das mesmas. No entanto, para obter uma ficha técnica relativa à durabilidade da tesoura e força de corte é necessário garantir que estes testes são sempre efetuados mediante as mesmas condições.

No processo de análise aos testes efetuados a tesouras agrícolas, foi ainda feita uma investigação em que foram analisados diversos catálogos e listas de produtos disponibilizados por diferentes empresas fabricantes de tesouras agrícolas, tais como a *Fiskars*, *Felco*, *Corona* ou *ARS*, não tendo sido verificado que nenhuma destas realize testes de performance significativos às suas tesouras. Surge então a necessidade de idealizar um novo método de teste que seja capaz de corresponder a todos os requisitos apresentados, sendo este não só um benefício para a *Carpa Tools*, mas para todas as empresas deste ramo de trabalho.

2.3 Máquinas para Efetuar Ciclos Repetitivos

Após concluir que a *Serafim Fertuzinhos S.A.* não possuía nenhum equipamento para a realização de testes repetitivos, surgiu a necessidade de uma primeira pesquisa focada na identificação de máquinas ou sistemas existentes capazes de satisfazer os requisitos traçados para o projeto, ou com funcionamento semelhante ao requerido. Não tendo como objetivo utilizar máquinas ou sistemas previamente desenvolvidos, a pesquisa destes pode levar a que se conheçam diversas opções relevantes no desenvolvimento da máquina.

Os equipamentos analisados são capazes de produzir movimentos cíclicos, de entre os quais se destacam a *Scissors Cutting Performance Test Machine*, uma máquina da marca *CATRA* capaz de simular o funcionamento de tesouras de papel ou tecido analisando os dados relativos ao corte, e máquinas de testes dinâmicos e de fadiga, que realizam testes cíclicos e registam dados relevantes ao processo em análise.

2.3.1 CATRA - Scissors Cutting Performance Test Machine

Relativamente a máquinas para teste de tesouras, a *Scissors Cutting Performance Test Machine* fabricada pela marca *CATRA* foi o único resultado da pesquisa. Embora se trate de um produto

descontinuado, o seu funcionamento é o que se pretende aplicar à máquina em desenvolvimento, com a exceção da particularidade de ser aplicado a tesouras agrícolas em vez de corte de papel ou tecido.

Deste modo, podem estudar-se as componentes desta máquina referentes à medição de força, controlo, atuação e processamento de dados, sendo estas semelhantes para qualquer tipo de máquina que se pretenda construir.

Desde os anos 50 que, na área do fabrico de objetos cortantes, facas e tesouras, se persegue um mecanismo de medição normalizado da performance de corte. Não sendo isto atingido, a medição é feita tipicamente utilizando vários métodos manuais ou mecânicos, com um grande nível de variação relativa, sendo impossível comparar resultados provenientes de diferentes fontes.

Tendo isto em mente, a empresa *CATRA* desenvolveu esta máquina, de forma a tornar possível comparar os mais diversos fabricantes de tesouras, bem como os seus diferentes *designs* e modelos, e assim determinar quais têm qualidade superior. Para além deste fator comparativo, a *CATRA* realça também a utilidade desta máquina para as empresas fabricantes de tesouras, como forma de garantir que os seus produtos correspondem às devidas normas de qualidade de fabrico, bem como a sua utilização como uma ferramenta de desenvolvimento de novos modelos, determinando quais os parâmetros ótimos do fabrico.

A *CATRA* refere que o método ideal para a medição da performance de corte de uma lâmina é através da medição da carga necessária para que esta corte um material normalizado, em condições de teste controladas e replicáveis, sendo que uma menor carga corresponde a uma melhor performance de corte.

O método que a máquina emprega para efetuar esta medição, começa pela fixação de cada uma das pegas da tesoura em pinos de montagem ajustáveis, sendo um destes acoplado à estrutura da máquina, e o outro montado num braço ajustável, conectado a um motor elétrico, responsável por efetuar o fecho da tesoura. Sendo este braço rígido, este sistema implica que o eixo de rotação da tesoura esteja alinhado corretamente com o eixo de rotação do braço, para garantir que não existam desalinhamentos que possam causar falhas ou quebras de qualquer componente.

Uma vez que a tesoura se encontre corretamente acoplada à máquina, torna-se possível iniciar o teste, bem como a medição da respetiva carga. Esta é feita através de sensores de carga de elevada precisão inseridos no braço do motor, que reagem devidamente ao esforço efetuado para fechar a tesoura, num arco predeterminado e a velocidade controlada.

Esta máquina permite também, mediante a aplicação de alimentadores de geometria diferente, a utilização de diversos materiais de teste, tais como papéis, cartões, tecidos, polímeros, fibras, arame ou

até tubagens. No entanto, o material mais usual, dado que o foco principal da máquina são tesouras para corte de papel, é um tipo de papel abrasivo especial normalizado, segundo a norma *ISO 8442.5*, que é utilizado para a avaliação da performance corte de facas de cozinha. Este material é armazenado e alimentado por um sistema rolante, que permite o controlo do incremento da quantidade de alimentação a cada corte, ou seja, o comprimento de papel abrasivo cortado em cada ciclo.

Aquando do fecho da tesoura por parte do motor elétrico, o sistema regista a evolução da curva da carga ao longo do corte para cada uma das operações, selecionado posteriormente o valor máximo registado em cada uma das operações de corte, e assim medindo a evolução da performance de corte. Pode também alternativamente, determinar-se a evolução da performance considerando toda a carga aplicada em cada uma das operações de corte, podendo assim comparar-se os dois parâmetros.

Trata-se também de um sistema totalmente programável, permitindo ao utilizador escolher os parâmetros principais dos testes, tais como, o número de ciclos de corte, a frequência de medição da carga, a velocidade de fecho da tesoura, a quantidade de material a cortar e o tipo de material a cortar.

Sendo o *software* de análise e processamento de dados baseado em *Microsoft Excel* e *Microsoft Access*, este é de fácil implementação, permitindo uma simples manipulação dos dados, bem como a sua representação gráfica e comparação com testes previamente efetuados. Estes dados podem ser apresentados por via de um gráfico simples onde se demonstra a evolução da força em relação ao número de ciclos, permitindo assim avaliar a durabilidade da tesoura.

Pode ainda observar-se a máquina em funcionamento, durante um teste a uma tesoura para o corte de papel na Figura 16.

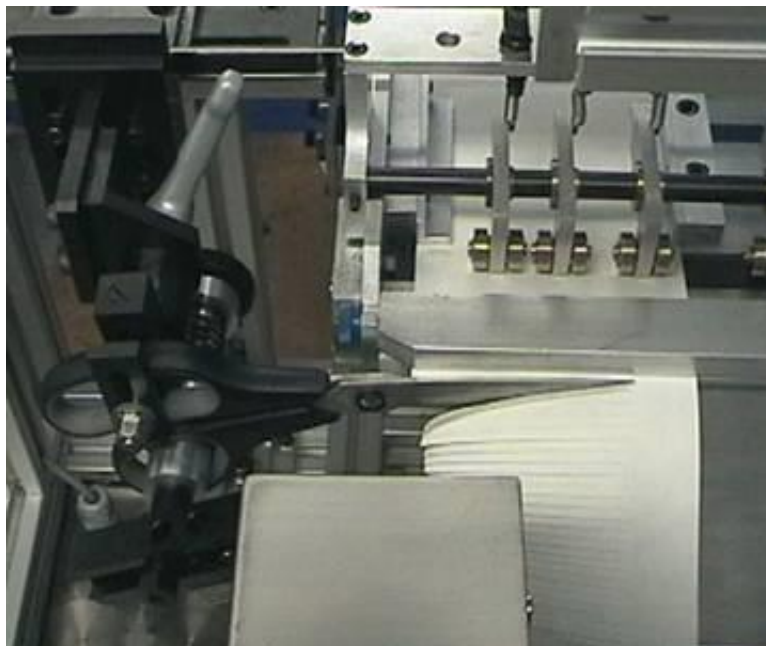


Figura 16 – CATRA, Scissors Cutting Performance Test Machine, em funcionamento durante um teste de uma tesoura para corte de papel.¹

2.3.2 Máquinas de Testes Dinâmicos e de Fadiga

As máquinas utilizadas para efetuar testes dinâmicos e de fadiga possuem semelhanças com o equipamento em desenvolvimento neste documento. Esta semelhança retrata-se no número elevado de ciclos de testes, ciclos repetitivos, registrando os resultados da medição do esforço em cada um destes ciclos. Estes tipos de equipamentos são tipicamente utilizados para quantificar a resistência à fadiga mecânica como forma de caracterizar amostras de diversos materiais.

Apesar de não serem utilizadas para testar o desempenho de componentes específicos tais como tesouras, ou outros objetos semelhantes o seu funcionamento pode servir de base quer ao sistema de atuação e fixação quer ao sistema de medição de cargas.

Tomando como exemplo as máquinas da marca *Zwickl/Roell*², pode observar-se que existem os mais diversos modelos deste tipo de máquinas, podendo ser caracterizados mediante o seu tipo de atuação como servo-hidráulicos, eletromagnéticos e eletromecânicos. Como seria de esperar, esta diferença no tipo de atuação está diretamente relacionada com o tipo de teste que cada uma será responsável por efetuar. Dada a sua complexidade, velocidade de atuação e custo elevado a sua aplicação na máquina em desenvolvimento torna-se pouco relevante e terá de ser analisada em parceria com a empresa.

No entanto o seu sistema de medição de cargas é bastante relevante para o projeto. Estes equipamentos permitem a medição de cargas desde os 200 N até aos 2500 kN recorrendo, por exemplo, a células de carga distribuídas pelo equipamento. Estas células permitem analisar as cargas resultantes dos esforços aplicados ao material em teste. Este tipo de recolha de dados poderá ser aplicado ao caso em desenvolvimento.

2.3.3 Mecanismo de Retorno Rápido

O mecanismo de retorno rápido é utilizado, por exemplo, no limador mecânico, que é uma máquina ferramenta utilizada para executar o processo de maquinagem chamado limagem. Para tal, este executa um movimento retilíneo alternativo sobre a superfície plana de um material. Esta operação é efetuada com o intuito de obter uma superfície plana que possa ser utilizada como referência na utilização de réguas, barramentos, bases, entre outros.

Com o auxílio de uma ferramenta monocortante que se desloca linearmente de maneira alternada sobre a superfície plana de um corpo, a máquina realiza então as suas operações. A ferramenta executa o movimento de trabalho, enquanto que a peça limada tem apenas a função de alimentação.

Quanto ao porta-ferramentas, este encontra-se fixo ao cabeçote móvel e será este que transmitirá o movimento de translação ao porta-ferramentas e, por consequência, o movimento de corte à ferramenta.

Este mecanismo, como o ilustrado na Figura 17, não é mais do que uma variante do mecanismo de *Whitworth*, em que há transformação do movimento de rotação em movimento de translação retilínea, neste caso da manivela 2 para a corredeira 6. No mecanismo do limador, o movimento de retorno rápido é conseguido porque, durante o curso de avanço ou corte, o pino B da manivela 3 se move ao longo do arco α , ao invés de que durante o recuo ou retorno, o pino descreve um arco de diâmetro menor, β .

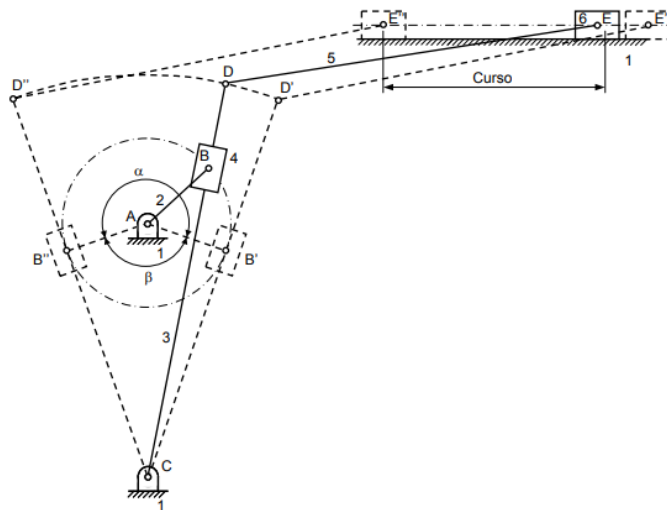


Figura 17 – Esquemática do mecanismo de acionamento normalmente presente no limador mecânico.

2.4 Força de Prensão Manual

Um dos requisitos mais importantes, e ao qual é imperativo corresponder durante o processo de desenvolvimento da máquina, é a capacidade de esta simular, nas tesouras, um processo de corte o mais semelhante possível ao resultante da utilização destas com a mão humana. A relevância deste requisito é tão elevada dado que se pretendem obter, com os testes, resultados o mais próximos possíveis com a realidade.

Dentro de todos os fatores relevantes para esta exatidão do processo, destaca-se a força que é aplicada na tesoura durante o processo de corte, que irá manifestar-se na carga aplicada pela máquina para efetuar o fecho das tesouras e a operação de corte.

Caso seja aplicada uma carga de valor demasiado elevado, estar-se-á a submeter as tesouras a forças de ordem maior que as forças de funcionamento, estando estas sempre em esforço, o que promove tanto um desgaste prematuro das tesouras no geral, como a deterioração de certas áreas que não teriam desgaste em funcionamento normal.

Da mesma maneira, a aplicação de cargas demasiado baixas fará com que não ocorra desgaste significativo na tesoura, podendo assim não conseguir reproduzir-se, de maneira correta, todo o ciclo de vida da tesoura. Para além disso, esta falta de carga irá afetar o processo de corte, fazendo que, por vezes, as tesouras não consigam cortar totalmente o material de teste a ser utilizado.

Consideram-se então duas opções capazes de possibilitar a determinação deste valor, a análise da força gerada durante o processo de corte do material de teste, ou então a determinação da força que um ser humano é capaz de efetuar através do fecho da sua mão. Ambas serão capazes de prever um valor representativo daquilo que acontece durante o uso normal da tesoura, no entanto, para este projeto selecionou-se a segunda opção. Isto porque, a força necessária para o corte do material de teste irá variar mediante um conjunto de fatores, tais como o material selecionado, o seu diâmetro e geometria, o que faz com que este valor possa não ser o mais fiável.

Em conjunto com isto, ocorre também que, no funcionamento normal das tesouras, a força de corte gerada é limitada pela força que o indivíduo consegue efetuar, ou seja, caso a força necessária para cortar um ramo de árvore seja superior à força que o indivíduo consegue gerar, o corte não será efetuado e ficará incompleto, optando-se assim por fazer um estudo da força de prensão manual para determinar este valor da força de corte.

A força de prensão manual é tipicamente medida através da utilização de um dinamómetro de mão, semelhante ao apresentado na Figura 18, podendo este ser digital ou analógico, apresentando tipicamente o resultado da carga medida em quilogramas. A pessoa que estiver a ser objeto de teste aperta a pega do dinamómetro, e este por sua vez mede a carga ao qual está a ser sujeito, apresentando o resultado. ³



Figura 18 – Dinamómetro de mão analógico JAMAR. ⁴

Como se pode observar pela Figura 18, o movimento efetuado neste teste é extremamente semelhante ao que é utilizado no corte com tesouras agrícolas, pelo que os dados resultantes deste são bastante relevantes para o projeto.

São diversos os fatores que podem influenciar os resultados deste teste. Começa por destacar-se a idade como sendo o que possui mais impacto, podendo verificar-se um aumento da força até serem atingidos os 35 anos de idade, onde esta regista o valor máximo, apresentando um declínio contínuo a partir daí. ³ Paralelamente, têm-se a altura e o sexo dos indivíduos de teste como fatores bastante influentes. Tipicamente, indivíduos com maior estatura apresentam resultados de valor maior, e da mesma maneira, indivíduos do sexo masculino têm capacidade de exercer forças superiores. ³

Outros fatores com menor influência passam pelo estado nutricional do indivíduo e o seu índice de massa corporal, o nível de preparação física e a sua fisiologia, o ramo de atividade profissional, o estado cognitivo, a utilização da mão dominante ou não dominante e o respetivo tamanho, a posição de teste, podendo ainda existir uma variação entre indivíduos de nacionalidades diferentes. ^{3 5}

Sendo assim, de todo o conjunto de dados resultantes da pesquisa efetuada, foram considerados somente aqueles em que as medições corresponderiam a situações de uso real das tesouras. Isto passa por considerar, por exemplo, apenas os dados medidos com a mão dominante do sujeito de teste, considerou-se que as tesouras seriam sempre utilizadas na mão dominante, definindo-se um intervalo de idades relevantes entre os 18 e 75, entre outras condições referidas de seguida.

Um estudo efetuado em 1998 por *Talsania & Kozin*, em que foi utilizado um dinamómetro de pega manual regulável, considerando três posições diferentes, teve como sujeito de teste a população norte americana e produziu os resultados que podem ser observados na Tabela 4. Foram considerados apenas os resultados relevantes.

Tabela 4 - Valores médios de força de preensão manual para indivíduos norte americanos. ⁵

	Mão Dominante - Sexo Feminino	Mão Dominante - Sexo Masculino
Posição 1	32.5 kgf	52.2 kgf
Posição 2	30.2 kgf	46.7 kgf
Posição 3	26.1 kgf	42.1 kgf

Um segundo teste considerado, realizado em 2004 por *Massy-Westropp et al.*, efetuado em indivíduos de nacionalidade australiana, apresentou os resultados presentes na Tabela 5. Comparativamente ao teste anterior, este não apresenta apenas uma média de todos os resultados obtidos, mas sim um intervalo entre os valores máximo e mínimo medidos, organizando também estes valores em função da idade dos indivíduos de teste, não existindo uma variação no que toca à posição de teste do dinamómetro.

Tabela 5 – Intervalo de valores, em função da idade, para a força de preensão manual de indivíduos australianos. ⁵

Idade	Mão dominante - Sexo Feminino (kgf)	Mão Dominante - Sexo Masculino (kgf)
18 a 24	19 a 39	37 a 67
25 a 34	20 a 44	32 a 73
35 a 44	19 a 43	32 a 72
45 a 54	16 a 42	39 a 63
55 a 64	16 a 36	28 a 58
65 a 75	13 a 33	36 a 54

Um teste realizado na população espanhola, em 2005, por *Luna-Heredia et al.*, considerando indivíduos com idades entre os 30 e 80 anos, produziu os resultados que se apresentam na Tabela 6, apresentando o valor médio, dividido por intervalo de idades.

Tabela 6 - Valores médios, em função da idade, para a força de preensão manual de indivíduos espanhóis. ⁵

Idade	Mão dominante - Sexo Feminino (kgf)	Mão Dominante - Sexo Masculino (kgf)
30 a 39	28.2	50.9
40 a 49	28.8	50.2
50 a 59	24.5	46.6

60 a 69	19.5	35.7
70 a 79	17.0	29.5

Em 2014 foi conduzido, por *Mohammadian, Choobineh, Haghdoost & Hasheminejad*, na população Iraniana um teste de medição de força de preensão manual, cujos resultados se apresentam de seguida na Tabela 7, apresentando tanto o valor médio como o intervalo de valores resultantes, em função da idade dos indivíduos de teste.

Uma análise rápida dos dados apresentados acima permite, numa primeira instância, verificar alguns dos fatores que foram mencionados previamente. Verifica-se, então, de um modo geral, que os indivíduos do sexo masculino apresentam uma capacidade de exercer forças de preensão manual superiores, podendo analisar-se também a existência de uma variação destes valores entre as mais diversas nacionalidades. Por último, pode confirmar-se a existência de um padrão de evolução desta força, havendo um aumento da mesma até serem atingindo os 35 anos de idade e uma posterior diminuição contínua.

*Tabela 7 - Valor médio e intervalo de valores, em função da idade, para a força de preensão manual de indivíduos iranianos. **

Idades	Mão dominante - Sexo Feminino (kgf)		Mão Dominante - Sexo Masculino (kgf)	
	Valor médio	Max.- Min.	Valor médio	Max.- Min.
20 a 24	28.5	15.3 - 42.5	54.4	33.7-77.7
25 a 29	29.6	19.0 - 38.7	50.9	33.3-71.7
30 a 34	29.4	17.0 - 41.2	52.6	37.7-69.7
35 a 39	29.7	21.0 - 39.7	48.9	31.7-72.3
40 a 44	29.4	21.0 - 40.3	48.2	32.7-66.3
45 a 49	29.1	19.2 - 50.0	47.2	31.7-71.3
50 a 54	26.5	16.3 - 38.3	43.7	30.2-58.7
55 a 59	24.9	13.3 - 35.3	42.2	28.0-58.7
60 a 64	24.6	17.0 - 33.7	41.4	29.7-57.7
65 a 69	22.0	10.7 - 32.7	35.9	16.0-56.0
70 a 75	22.4	16.5 - 34.3	34.0	17.7-45.0

Quanto aos valores previamente referidos, pode verificar-se que a média dos mesmos se encontra no intervalo dos 30 aos 50 kg, no entanto, podem observar-se instâncias em que o valor máximo medido

atinge valores muito próximos dos 80 kg. Considerando estes valores no contexto da utilização de tesouras agrícolas, é expectável que a carga gerada na maioria dos cortes efetuados com as mesmas se encontre entre 30 e 50 kg, o que corresponde aos valores médios dos testes efetuados.

No entanto, não podem desprezar-se os momentos em que estas serão utilizadas por indivíduos capazes de exercer cargas de valor mais elevado, na ordem dos 80 kg. Assim, considerou-se este valor de 80 kg como sendo o valor a utilizar para o desenvolvimento da máquina, de forma a garantir que esta seja capaz de simular o funcionamento e de fazer uma medição correta das cargas geradas. Este valor de 80 kg fornece também, desde logo, uma margem de segurança para todo funcionamento da máquina, garantindo que a maior parte das cargas a serem medidas pela mesma serão bastante inferiores a este valor máximo. Todo o processo de dimensionamento e seleção de componentes do equipamento terá por base este valor.

3. DESENVOLVIMENTO CONCEPTUAL E PROJETO MECÂNICO FINAL DO EQUIPAMENTO

O passo inicial no que toca ao desenvolvimento desta máquina, passa por efetuar uma idealização das funções que esta terá de ser capaz de realizar. Para isso começará por analisar-se o lote de tesouras fornecido pela empresa, definindo assim quais as dimensões com as quais a máquina terá de trabalhar. De seguida, será necessário determinar qual o material a ser utilizado para efetuar os testes, tendo este de ser o mais semelhante possível ao material cortado pelas tesouras no seu funcionamento.

Tendo sido assim definido os dois componentes que ocuparão a posição central do funcionamento da máquina, seguir-se-á com a idealização de todas as funções que esta terá de desempenhar, delineando assim a restante estrutura da máquina. Em simultâneo, pode iniciar-se a definição de quais as variáveis que a máquina terá de medir para que seja possível quantificar o desempenho da tesoura em estudo.

3.1 Caracterização do Lote de Tesouras

Após definido o conjunto base de características e especificações do equipamento a projetar, segue-se a análise do lote de tesouras cedido pela empresa, sendo expectável que a máquina a desenvolver seja capaz de efetuar os testes em cada uma delas. Dado que as tesouras são o componente a ser testado, a máquina terá de ser construída em torno das dimensões e *design* das tesouras a testar.

Deste modo, começaram por se analisar quais as características, das tesouras, mais relevantes aquando do desenvolvimento da máquina.

A primeira, e aquela que será a mais relevante de todas, passa pelas dimensões de cada um dos modelos de tesoura. Esta diferença de dimensões de modelo para modelo irá alterar os mais diversos fatores, entre estes, a posição da lâmina de corte da tesoura, a amplitude de abertura e fecho, a posição de atuação no momento de fecho, a forma de fixação da tesoura na máquina, entre outros fatores relevantes. Assim sendo, definiram-se quais as dimensões mais significativas, para o projeto, a ser recolhidas em todas as tesouras.

Convém referir que, as posições críticas a analisar da tesoura são a posição completamente fechada, bem como a posição completamente aberta, dado que são os dois pontos extremos de

funcionamento. Garantindo que a máquina consegue funcionar entre estes dois valores, têm-se a certeza que é possível simular todo o processo de corte.

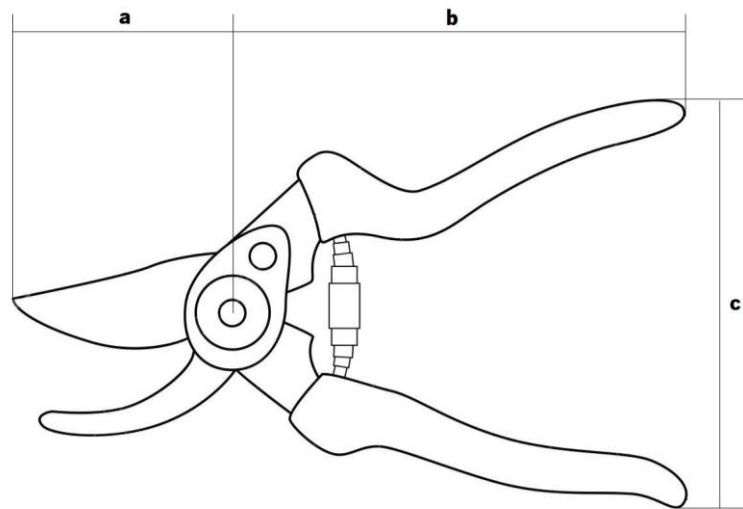


Figura 19 - Representação esquemática de uma tesoura, onde se caracterizam as medidas mais relevantes para este projeto, em que a é a distância entre a lâmina e o centro de rotação, b é a distância entre o centro de rotação e o final do cabo e por fim c é a amplitude da tesoura.

Como pode ser observado na Figura 19, foram definidas três dimensões principais a ser recolhidas. Começando pela que se identifica com a letra “**a**”, esta corresponde à medida entre o eixo da tesoura e a ponta da lâmina. Esta medida será constante quer se considere a tesoura na posição aberta ou fechada. A caracterização desta dimensão para todas as tesouras permite desde já definir a amplitude de ajuste para a posição de alimentação do material a cortar.

No que toca à medida “**b**”, esta pode definir-se como sendo a distância entre o eixo da tesoura e o ponto extremo da pega superior. Considerando a posição fechada, teremos a medida em que este ponto se encontra mais distante do eixo, e na posição aberta o ponto mais próximo. Considerando a diferença entre estas duas medidas, torna-se possível delimitar o intervalo no qual esta pega se movimentará, determinando assim a variação horizontal à qual a atuação tem de corresponder.

Quanto à medida “**c**”, esta apresenta também uma diferença caso se considere a tesoura fechada ou aberta. Quando fechada, trata-se da espessura da mesma, ou seja, a altura mínima da tesoura em relação a uma base. Como se pode verificar anteriormente, existem diferentes tipos de pegas, sendo que alguns destes possuem formas não lineares, o que faz com que existam secções da pega com espessura maior e menor. Nestes casos escolheu apresentar-se, para a medida “**c**”, tanto o valor mínimo, como o valor máximo. A caracterização do valor desta medida com a tesoura fechada e com a

tesoura aberta permite definir a amplitude de movimento cada tesoura, fator crucial para o dimensionamento do equipamento para testes.

Caso se considere a posição aberta, esta medida passa a ser a posição máxima a que a pega se encontrará, definindo assim o valor mais elevado ao qual o mecanismo de atuação terá de corresponder. Uma particularidade deste valor é que, durante a utilização diária da tesoura, não é expectável que o usuário a abra até ao valor máximo depois de todos os cortes efetuados, pelo que se considerou uma posição intermédia, de utilização, após a qual, a continuação da abertura da tesoura não se justificará, efetuando uma medição nesta posição.

De forma a obter-se uma maior perceção de todos os modelos que foram considerados neste estudo, apresentam-se, na Tabela 8, fotografias de todas as tesouras, tendo sido atribuído a cada uma delas uma letra, para mais facilmente efetuar a sua identificação posteriormente.

Tabela 8 - Lote de tesouras fornecidas pela Serafim Fertuzinhos S.A., da marca Carpa Tools para o desenvolvimento de um equipamento para o seu teste, com a respetiva letra de identificação.









Denominação	Fotografia da tesoura
A	
B	
C	
D	
E	

Tabela 5 - Lote de tesouras fornecidas pela Serafim Fertuzinhos S.A., da marca Carpa Tools para o desenvolvimento de um equipamento para o seu teste, com a respetiva letra de identificação. (cont.)

Denominação	Fotografia da tesoura
F	
G	
H	

Posto isto, foram recolhidas todas as medidas e dimensões importantes relativas às tesouras, as quais se apresentam de seguida na Tabela 9.

Tabela 9 - Medidas relevantes de cada uma das tesouras.

Letra de Identificação	Tesoura fechada			Tesoura aberta		
	A (mm)	b (mm)	c (mm)	b (mm)	cútil (mm)	cmax (mm)
A	90	170	39.5	110	150	180
B	80	150	34.8	105	140	160
C	58	122	33	70	120	120
D	70	120	32.7	70	105	130
E	58	142	42 a 44	55	115	130
F	70	150	41 a 48	40	140	160
G	60	140	40.5 a 41	60	135	155
H	57	133	44	55	105	145

3.2 Materiais de Teste a Utilizar

Em conjunto com a tesoura, o material de corte é o segundo ponto central da máquina. A correta seleção deste será bastante importante pois irá influenciar toda a restante seleção de componentes bem como o dimensionamento de todos os componentes estruturais da máquina.

Começou por definir-se em primeira instância que, qualquer que fosse o objeto de teste a utilizar, este teria de ser constituído por algum tipo de madeira, dado que é neste tipo de materiais que a tesoura é utilizada tipicamente. Tendo definido isto, a restante seleção necessitará que sejam tidos em conta dois fatores principais, sendo estes o tamanho, dimensão e geometria do material a utilizar, bem como a acessibilidade do mesmo.

Quanto ao tamanho e geometria, este terá de ser suficientemente semelhante aos ramos cortados no funcionamento normal da tesoura, para que o teste efetuado seja relevante. Sendo assim, terá de ser algo semelhante a um varão ou um veio, com um diâmetro constante que permita a repetibilidade precisa dos testes.

Quanto à acessibilidade deste material, esta será bastante importante dada a enorme quantidade de cortes a ser efetuados. Terá de ser possível adquirir este produto em grandes quantidades e a um preço acessível de forma a garantir a rentabilidade da máquina, caso contrário, cada teste a ser efetuado apresentaria um custo demasiado elevado.

Da mesma maneira, esta grande quantidade fará com que seja necessário maximizar o número de cortes efetuados por varão, de modo a rentabilizar ao máximo cada um destes, o que favorece varões de comprimento maior. A utilização de comprimentos maiores será também benéfica no que toca ao armazenamento dos mesmos. Sendo que será consumido um grande número de varões, a utilização de varões demasiado curtos fará com que o número de varões seja bastante elevado, aumentando tanto o preço, como a dificuldade de armazenamento.




Caso se considere o oposto, a utilizando varões demasiado grandes, rentabilizar-se-á o número de cortes por varão e diminuir-se-á o número de varões utilizados, no entanto, dado que o tamanho da máquina estará condicionado pelo tamanho dos varões, isto fará com que esta seja demasiado grande, o que se pretende evitar.

Assim sendo, é necessário chegar a um compromisso entre todos estes fatores, pelo que se definiu que o comprimento do varão teria de rondar 1 a 2 metros. Esta medida permite utilizar varões suficientemente grandes para rentabilizar o número de cortes, sem comprometer o tamanho da máquina.

Não se estando a efetuar um projeto para a comercialização da máquina e para, deste modo, fazer a escolha de um fornecedor em específico para a aquisição destes materiais de teste, optou-se por deixar esta decisão a cabo da empresa. Foi, no entanto, definido qual o material a utilizar, suas dimensões e especificações. Isto, permite efetuar um desenvolvimento em concreto da máquina nesta fase de projeto, e posteriormente, tendo a empresa todas estas especificações, pode efetuar uma escolha que seja benéfica do melhor fornecedor.

Assim sendo, foram pesquisados produtos acessíveis com facilidade de aquisição durante este projeto, como por exemplo em lojas de bricolage, que fossem simples o suficiente para posteriormente se encontrar um fornecedor específico dos mesmos. Fez-se então um levantamento dos produtos disponíveis que satisfizessem todos estes requisitos, os quais se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 - Materiais de teste considerados para o projeto. ^{8 9 10}

Material	Imagem	Fornecedor	Custo Unitário	Principais Características
Faia 8711283367804		<i>LeroyMerlin</i>	0,69€	Varões Comprimento: 1 m Diâmetro: 5 – 30 mm Força de Corte [7]: 7,7-10 N/mm ²
Pinho 5600437700969		<i>LeroyMerlin</i>	1.69 €	Varões Comprimento: 2.40 m Diâmetro: 10 – 35 mm
Samba / Obeche 8711283234212		<i>LeroyMerlin</i>	3.09 €	Varões Comprimento: 2.40 m Diâmetro: 12 mm

Como pode ser observado, todos estes materiais apresentam características semelhantes no sentido em que são varões circulares, com comprimento e diâmetro variável. De todos estes, o que foi selecionado como o mais indicado foi o primeiro, dado o seu comprimento de 1 metro, que permite a construção de uma máquina mais compacta que os restantes.

Determinou-se também que o diâmetro mais indicado seria 5 mm, isto pois, considerou-se a medida de 5 mm como uma média do diâmetro de todos os ramos que as tesouras cortariam ao longo

da sua vida útil. Esta medida garante também que, durante os testes, a tesoura não se encontra sujeita constantemente a cargas demasiado elevadas, nem demasiado baixas, estabelecendo assim um ponto intermédio.

3.3 Detalhe das Funções a Desempenhar

Tendo sido definido o núcleo daquilo que será o funcionamento da máquina, torna-se importante idealizar, de uma maneira mais detalhada, todas as funções que serão requeridas à máquina durante o seu funcionamento. Para além disso, é necessário garantir que a máquina funciona com todas as tesouras de uma maneira correta e semelhante, o que é imposto através deste detalhamento.

Este é também um passo bastante importante, dado que é através desta previsão de todas as situações às quais a máquina estará sujeita que se consegue prevenir a ocorrência erros ou falhas durante o seu funcionamento.

Uma vez que tenham sido idealizados todos estes requisitos e funções a desempenhar pela máquina, a idealização desta, dos seus componentes e do seu design torna-se muito mais fácil, pois possui-se desde já uma base concreta para efetuar este desenvolvimento do projeto detalhado da mesma.

Tendo isto em mente, e de forma a facilitar este desenvolvimento, optou-se então por começar por dividir a máquina em diferentes secções, baseadas nas suas funções principais, permitindo assim, desenvolver cada uma delas de forma distinta e mais detalhadamente.

Assim sendo, começou por pensar-se naquilo que será a função principal da máquina, a medição da carga resultante do corte efetuado, definindo assim a primeira destas secções da máquina, o sistema de medição de carga. Paralelamente a este sistema e trabalhando os dois em conjunto, é necessário que uma carga seja imposta na tesoura de forma a efetuar o fecho da mesma e, por consequência, a operação de corte, definindo-se assim, o sistema de atuação da máquina. De forma a tornar possível o trabalho dos dois sistemas mencionados anteriormente, torna-se necessário fornecer ao sistema, de forma automática e controlada, o material de corte. Para esta função é criado então, o sistema de alimentação.

Um desenvolvimento adequado e competente destes três sistemas tornará possível que a máquina efetue todas as funções necessárias ao seu funcionamento, e que seja capaz de desempenhar todas as ações das quais consistirá a simulação do processo de corte. No entanto, os três sistemas em

separado não serão capazes de funcionar corretamente, pelo que se torna necessário a consideração de uma última secção da máquina que seja capaz de efetuar a sua coordenação e controlo.

Define-se assim o sistema de controlo e segurança que, tal como o nome indica, será responsável por todas as operações de controlo da máquina, estando responsável por coordenar os restantes sistemas, e ainda, tratar de todas as operações de segurança que sejam necessárias para garantir que não há falhas críticas durante o funcionamento da máquina.

Assim sendo, estes quatro sistemas irão estar interligados, trabalhando em conjunto para garantir o funcionamento correto de máquina, seja qual for a situação em que esta se encontre. Pode assim começar-se, de maneira mais simples, o detalhamento de todas as funções a desempenhar pela máquina, fazendo-o individualmente para cada sistema.

Começando então pelo sistema de medição de carga, torna-se necessário detalhar quais as suas funções. Todo o processo de teste começa com a colocação e fixação da tesoura a ser testada na máquina, pelo que é este o primeiro requisito. O sistema de medição de carga tem de permitir a fixação de todas as tesouras, seja qual for a dimensão ou geometria da pega das mesmas, tendo de ser este processo o mais fácil possível. Assim sendo, a adaptabilidade e facilidade da fixação das tesouras é o primeiro requisito considerado para o sistema de medição de carga.

Um dos requisitos é também que o ponto em que a tesoura efetue o corte seja idêntico para todos os modelos de tesoura. Dado que existem diversos modelos diferentes com dimensões bastante distintas, torna-se assim um requisito deste sistema que permita a movimentação, quer na horizontal quer na vertical destas tesouras.

Uma particularidade desta montagem é que, dada a geometria da tesoura, aquando da aplicação da carga e do fecho da mesma, podem ocorrer cargas indesejáveis. A situação ideal seria que a carga resultante do fecho da tesoura apresentasse apenas uma componente vertical, na direção de atuação, no entanto, sendo a tesoura um elemento esguio e suscetível a movimentações que a desviem da posição ideal, caso isto aconteça, serão geradas cargas axiais ou de torsão que poderão alterar os resultados do teste, ou danificar a estrutura da máquina. Desta situação surgem dois requisitos bastantes, sendo estes, a capacidade de a estrutura da máquina sustentar este tipo de cargas sem dano nem alteração dos valores medidos, e que a fixação da tesoura seja concebida de forma a prevenir a aparência deste tipo de desvios, dos quais as cargas externas resultam.

Uma vez efetuada a fixação da tesoura e todos os ajustes posicionais necessários da mesma, é necessário ter-se também em conta a massa própria da tesoura. Caso esta não seja tida em consideração, irá influencia o valor resultante da medição da força exercida durante o corte, fazendo com

que este seja inviável. Assim sendo, a capacidade de tarar este valor da força medida após a fixação da tesoura torna-se um dos requisitos mais importantes para o bom funcionamento da máquina.

Tendo reunido todas as condições anteriores, pode iniciar-se o processo de teste, sendo que aqui, a função principal deste sistema passará pela apenas medição da força de corte exercida. Deste modo um dos requisitos deste sistema será a capacidade de efetuar a correta medição deste valor.

É expectável que este processo de corte comece com uma carga de valor mínimo, que evoluirá até um valor máximo e voltará ao zero. Esta variação tem interesse no contexto da medição que se deseja efetuar, pretendendo registrar-se não apenas o valor máximo, mas toda a sua evolução, isto dado que pode ocorrer a existência de picos de força que não irão refletir a verdadeira força de corte.

Para além disso, um dos resultados que se pretende obter é um gráfico representativo desta força de corte, o que faz com que não seja suficiente existir apenas uma medição da força de corte por cada iteração do processo. Desta maneira, um dos requisitos é que este sistema seja capaz de efetuar medições de carga com elevada frequência, que seja suficiente para a representação concreta de todo o processo de corte.

Voltando a considerar esta possibilidade de ocorrerem picos de força na operação de corte, quer estes ocorram por falha da tesoura, má colocação do material de corte, ou qualquer outra situação extraordinária, torna-se necessário que a máquina esteja preparada para estas ocorrências. Deste modo, tomando o valor de 80 kg que foi determinado para o desenvolvimento deste projeto, será necessário garantir que a máquina está preparada para ser submetida a forças desta ordem, garantindo ainda uma margem de segurança adicional para evitar quaisquer falhas quando estes picos de força ocorram.

Retrocedendo mais uma vez à questão do gráfico que se pretende conceber, um dos seus requisitos é que este seja capaz de representar detalhadamente a evolução da força de corte, permitindo observar todos os pequenos detalhes que ocorram ao longo deste processo. Isto permitirá fazer uma análise mais minuciosa a estes valores, podendo detetar condições inesperadas, que não deveriam acontecer. Para tornar isso possível, outro dos requisitos ao qual será necessário corresponder é que, para além da elevada frequência de medição referida anteriormente, o sistema de medição de carga tenha uma grande resolução nos valores medidos.

Uma vez completado o teste, segue-se o processo com o tratamento e análise de dados, englobando isto a criação do gráfico mencionado anteriormente. No entanto, para tornar isto possível é necessário que, anteriormente, tenham sido registados todos os dados gerados durante o processo de medição. Assim sendo, a capacidade de registar e armazenar todos estes valores será um dos requisitos

mais importantes da máquina pois, caso esta não seja completada com sucesso, todo o teste será invalidado e terá sido realizado em vão.

Para além deste registo, é expectável também que seja possível efetuar a transferência de todos estes dados para um computador, de forma a fazer um armazenamento e registo a longo prazo de dados referentes a vários modelos de tesouras, possibilitando assim a sua comparação. A possibilidade desta ligação será, assim, um requisito bastante relevante.

Uma vez definidos todos os requisitos referentes ao sistema de medição de carga, passa a dirigir-se o foco para o sistema de atuação, sendo a principal funcionalidade deste efetuar o fecho da tesoura que se pretende testar, tendo de fazer força de magnitude suficiente para efetuar o corte do material de teste.

Assim sendo, começando por olhar-se à adequabilidade deste sistema aos diferentes tipos de tesoura, o primeiro requisito será que este seja adaptável e compatível com os diferentes modelos que foram apresentados. Requer-se também que este seja o mais simples possível, de modo a facilitar tanto a sua utilização, como a sua construção e integração na máquina.

Tendo em conta as diferentes dimensões que foram apresentadas anteriormente na Tabela 9, esta adaptabilidade passará por permitir a atuação seja qual for a geometria da pega da tesoura, a sua amplitude de abertura e fecho, e também no que toca à posição inicial, quando a tesoura se encontra fechada. No que toca às diferentes geometrias das pegas, terá de ser desenvolvido um mecanismo que permita, seja qual for esta geometria e a dimensão horizontal da tesoura (valor de **b** na Tabela 9), a atuação desta seja feita num ponto definido e constante, de modo a garantir que todos os testes são efetuados nas mesmas condições.

Do mesmo modo, de forma a respeitar as restantes dimensões correspondentes à amplitude do movimento de corte, será necessário que o mecanismo de atuação permita regular a posição vertical de início do movimento de atuação, bem como a amplitude do mesmo.

Outro requisito referente à interação do sistema de atuação com as tesouras, é que este seja capaz tanto de fechar as tesouras como já foi referido, como de as abrir após a conclusão de um corte. Isto é bastante importante pois, embora todas as tesouras do lote que foi fornecido possuam uma mola que, automaticamente, as abre após estas terem sido fechadas, por vezes, podem ocorrer falhas durante o corte, ou pode a tesoura ficar bloqueada na posição fechada, o que irá invalidar os cortes efetuados de seguida. Para além disso, existem modelos de tesouras que não possuem esta mola de abertura, os quais é necessário ter em conta no desenvolvimento da máquina.

É também necessário que, o acoplamento da tesoura ao sistema de atuação seja feito de tal forma que, ao efetuar o fecho da mesma, não ocorram deslizos ou outro tipo de falhas que façam a tesoura sair de posição e, por consequência, ocorram cargas axiais ou de torsão indesejáveis. Uma alteração da posição pode fazer também com que a operação de corte se torne impossível de concluir, pois estando a tesoura inclinada, ou desviada do ponto de corte, a interação da tesoura com o material de corte não será adequada

Mantendo o foco nesta questão da adaptabilidade, esta terá de estar presente não só no que toca ao acoplamento do mecanismo de atuação com as tesouras, mas também no controlo do seu movimento. Com isto pretende referir-se a variáveis como, a velocidade de atuação, que irá definir a frequência com que os cortes são efetuados, ou número de ciclos a efetuar, tendo estes valores de poder ser definidos pelo utilizador aquando da programação do teste.

Para além do que foi mencionado acima, é necessário que seja possível efetuar o controlo do movimento em si, isto é, fazer a programação da rotina de movimento. Com isto pretende referir-se à possibilidade de definir se o movimento de atuação é contínuo, ou se existem paragens, se as existirem em que ponto do ciclo se situam, se existem variações de velocidade ao longo do corte, e muitos mais fatores que se pretendam aplicar nos testes.

Assim, de forma a ser possível fazer esta programação, uma das funcionalidades que terá de ser implícita à máquina, é que esta permita determinar em que posição se encontra o mecanismo de atuação em todos os momentos.

Considerando as paragens referidas anteriormente, e a paragem inevitável que terá de ocorrer quando o teste atingir o seu final, é necessário também tomar precauções no que lhes toca. É de prever que, devido à massa do mecanismo, este apresente um valor de inércia que não pode ser desprezado. O que isto implica é que, quando ocorrer a paragem do sistema, não é suficiente apenas cessar a atuação do mesmo, pois esta inércia fará com que este continue em movimento enquanto desacelera até atingir a paragem. Isto fará com que existam mais operações de fecho da tesoura do que aquelas que são pretendidas, sendo estas em condições não controladas, o que pode causar falhas ou danos na máquina.

Para além do controlo da velocidade de paragem, é necessário controlar ainda a posição da imobilização da máquina, de forma a garantir que esta é efetuado num ponto definido, e não de forma aleatória. Assim, define-se como requisito controlar, não apenas o movimento, mas também a paragem da máquina, garantindo que esta é a mais rápida e precisa possível, evitando assim movimentos suplementares indesejáveis.

No que toca ao movimento de atuação efetuado, pretende-se que este seja o mais simples possível de forma a evitar mecanismos demasiado complexos e a diminuir o risco de falha. Desta forma, decidiu definir-se desde já que esta atuação será feita através de um movimento linear que será impingido nas tesouras. Deste modo, considerando que o atuador a utilizar para fazer mover este mecanismo pode produzir um tipo de movimento diferente (por exemplo: circular, no caso de o atuador ser um motor elétrico), um dos requisitos será que este seja capaz de converter seja qual for o movimento efetuado pelo atuador, para um movimento linear a ser aplicado na tesoura em teste.

Para além do referido anteriormente, é necessário ainda que o atuador selecionado seja capaz de efetuar força suficiente para fazer o fecho da tesoura. Como foi mencionado anteriormente, é expectável que a força gerada na operação de corte possa atingir a ordem dos 80 kg. Deste modo, será esta a força que, após a aplicação no mecanismo de atuação, o atuador terá de gerar na tesoura.

Quanto ao sistema de alimentação, o foco deste será, como foi referido anteriormente, o fornecimento do material de corte às tesouras, durante o processo de teste destas, bem como o armazenamento dos varões de madeira que serão cortados. Parecendo duas funções bastante simples, existem bastantes requisitos que serão apresentados de modo a garantir que o processo de corte ocorra sem falhas e de maneira correta.

Começando por avaliar a questão do armazenamento dos varões de madeira, o objetivo será conseguir depositar na máquina o maior número de varões possível, para que não seja necessário, durante o teste, o reabastecimento manual da mesma. Dado que, como foi referido anteriormente, estes varões apresentam uma dimensão considerável, a junção de vários num só lugar pode fazer com que a máquina atinja dimensões demasiado elevadas. Sendo assim, é necessário idealizar um sistema de armazenamento para estes varões, o mais simples possível, com o maior proveito do espaço disponível, de modo a simplificar a estrutura da máquina.

Uma vez que o armazenamento se encontre abastecido com os varões de madeira, é necessário efetuar o fornecimento destes à máquina. Este fornecimento terá de ser bastante controlado, permitindo apenas a passagem de um varão do armazenamento para o sistema de alimentação, para posteriormente serem fornecidos à tesoura em teste. Caso este controlo não exista, dada a grande quantidade de varões armazenados na máquina, estes irão amontoar-se e interferir uns com os outros tornando impossível o fornecimento correto de material de corte à tesoura. Assim sendo, é necessária a criação de um mecanismo de regulação de passagem, para garantir a alimentação controlada da máquina.

Sendo que os varões irão fluir do armazenamento para este mecanismo de regulação de passagem, que estes existem num número bastante elevado, e dada a sua geometria esguia e bastante comprida, estes podem, por vezes, ficar encravados ou entalados, esmagando-se uns aos outros, e impedindo assim o seu fluxo contínuo. Deste modo, será necessário ter cuidado aquando do desenvolvimento tanto do armazenamento como do mecanismo de regulação, garantindo que as suas geometrias previnem este tipo de acontecimento e que o material de corte fica preso na máquina.

Uma vez que tenha sido fornecido o varão ao sistema de alimentação, é necessário fazer com que este chegue à tesoura, de modo a que esta efetue o corte. Sendo que um varão irá possibilitar vários cortes, é necessário efetuar um avanço controlado do mesmo, deslocando-se de forma gradual, uma certa distância após cada operação de corte. Esta distância de deslocamento terá de ser um valor definido pelo utilizador, permitindo a máquina a sua alteração, mediante o que for pretendido, isto porque, diferentes tipos de tesouras, com diferentes tipos de lâmina podem reagir de forma diferente ao corte. Por vezes, uma distância de corte demasiado pequena pode fazer com que a tesoura seja incapaz de completar o corte. Da mesma maneira, se esta distância de avanço for demasiado grande, estar-se-á a desperdiçar material de corte, reduzindo assim o rendimento da máquina.

Para além de se pretender rentabilizar a utilização dos varões de corte, pretende-se também fazer o maior aproveitamento do tempo que a máquina irá necessitar para completar um teste. Assim sendo, isto passa por conseguir fazer com que não ocorram paragens no seu decorrer, o que implica que exista sempre material de corte a ser fornecido à tesoura. De forma a conseguir isto, será necessário desenvolver um mecanismo que garanta que, quando o varão que se encontra a ser cortado se aproximar do final, outro está já presente para substituí-lo, e mal o primeiro atinja o último corte e seja descartado, o segundo está pronto a ser alimentado e é fornecido à tesoura sem interrupções do processo de teste.

Para o bom funcionamento da ação deste mecanismo, este terá de ser devidamente coordenado com o fornecimento de varões do armazenamento para a máquina, que foi referido anteriormente. Isto porque, sendo que irá existir no sistema de alimentação, um varão a ser cortado, e imediatamente atrás um veio à espera para o substituir quando este for descartado, o fornecimento de varões irá fornecer não o varão em corte, mas o varão em espera. Se estes dois movimentos não forem coordenados de forma correta, pode ocorrer que, quando o veio em corte terminar não exista um veio para o substituir, ou então que, ambos os varões se encontrem em movimento, e seja inserido no sistema um terceiro varão, o que irá impedir o correto funcionamento da máquina.

Para garantir esta coordenação decidiu então definir-se que o fornecimento de varões irá ocorrer uma vez que o último varão passar num ponto definido da máquina, ou seja, uma vez que o varão em

corde passar um certo ponto, e se crie espaço suficiente para fornecer um novo varão à máquina, este será dispensado, caindo assim no sistema de alimentação, e garantindo que, quando o varão em corte terminar, já se encontra o seu substituto na máquina. Começa então o corte deste e, quando o ponto que foi definido for atingido, é fornecido um novo varão à máquina, repetindo-se assim o ciclo, todas as vezes que forem necessárias para atingir o número de cortes pretendido.

Uma vez que o varão se encontra a ser cortado pela tesoura, é também necessário ter cuidado com o seu posicionamento, garantindo que a sua disposição não é alterada pela ação da tesoura. Ou seja, é necessário prever qual o efeito que esta terá no varão, e tomar medidas para minimizar as consequências negativas. O primeiro passo para garantir que o corte ocorre da maneira correta é garantir que o varão não se desloca axialmente aquando do fecho da tesoura. Caso isto fosse possível, a ação da tesoura poderia fazer com que este se movesse, podendo fazer torcer a tesoura ou fazer com que esta ficasse encravada, o que originaria uma falha no processo de corte.

À semelhança do deslocamento axial do varão, é necessário também minimizar o seu deslocamento lateral. Sendo esta posição lateral que irá garantir o alinhamento dos varões com a lâmina da tesoura em teste, é essencial ter a certeza que o varão se encontra na posição correta e que esta não sofrerá desvios aquando do corte. Assim sendo, considerando que os varões estarão em constante movimento, e que estes serão fornecidos autonomamente ao sistema de alimentação, pode fazer-se este alinhamento lateral através do movimento de alimentação. Garantindo que, uma vez que os varões sejam fornecidos ao mecanismo de atuação, este é capaz de fazer o seu alinhamento e que não permite que estes sofram qualquer tipo de desvio, teremos o seu alinhamento garantido com a lâmina da tesoura, obtendo um corte sem falhas.

Quanto à componente de deslocamento vertical do varão, é preciso ter em conta que, para se obter a medição de força devida, toda a carga tem de estar a ser aplicada no sistema de medição de carga, não podendo nem a tesoura, nem o varão, nem nenhum componente que esteja implicado no processo de corte, estarem suportados noutra local da máquina. Assim sendo, assumindo que o processo de corte fará com que possa ocorrer uma pequena movimentação do varão devido à sua interação com a lâmina, será necessário garantir que o sistema de alimentação permite a sua movimentação nesta direção, garantindo que esta seja o menor possível, para certificar que o valor de força medido é correto.

Um dos requisitos que será imutável no que toca ao desenvolvimento deste sistema, é que este terá de ser completamente fixo, não permitindo nenhum tipo de ajuste de posição, contrariamente, por exemplo, ao sistema de medição de carga. Dado o enorme porte que este sistema apresentará,

principalmente pelo elevado número de varões e a sua grande dimensão, a movimentação do mesmo seria, não só extremamente complicada de efetuar com precisão, como também apresentaria grandes possibilidades de causar desalinhamentos ou falhas na máquina, invalidando todo o processo de teste. Deste modo, todos os ajustes posicionais necessários terão de ser efetuados pelos restantes sistemas, mantendo este imobilizado.

Por último, apresenta-se um requisito que não está completamente relacionado com o sistema de alimentação, mas sim com o resultado do seu funcionamento, que consiste na existência de um reservatório de armazenamento para os pedaços que serão cortados nos varões. Este, é necessário dado que, se não existir, os pedaços cortados começarão a acumular-se na área de corte, o que, após algum tempo, irá fazer com que estes comecem a interferir com o processo de corte, sendo ainda mais agravado pela grande quantidade de cortes que se pretende efetuar. Para além disso, a existência de um reservatório que consiga acumular estes pedaços, fará com que, posteriormente, a limpeza e manutenção da máquina seja muito mais simples, permitindo também dispor dos pedaços de forma correta muito mais facilmente, dado que estes já se encontram acumulados num só local.

Quanto ao sistema de controlo e segurança, este será o ponto central do funcionamento da máquina e de todos os sistemas que foram mencionados anteriormente. Estes, por si só, serão incapazes de ter algum tipo de funcionamento relevante, pois, ainda que tenham todas as capacidades para desempenhar as suas funções corretamente, necessitam sempre de alguma ordem superior que os coordene, e que faça o seu funcionamento valioso. Deste modo, é esta a função primária do sistema de controlo e segurança.

Dentro desta função primária, irá apresentar-se aquela que a irá complementar, não sendo menos importante, consistindo na função de segurança da máquina. Esta estará focada em fazer uma análise em tempo real do funcionamento da mesma e, caso seja detetada uma falha ou erro, efetuar a sua correção ou paragem da máquina, avisando o utilizador do acontecimento.

De forma a instruir os restantes sistemas da máquina no que toca ao seu funcionamento, o primeiro passo terá de ser que o sistema de controlo e segurança seja capaz de ler o conjunto de dados emitidos pelos restantes sistemas, compará-los com aquilo que será definido como sendo as posições e condições de início de teste, e fazer os ajustes necessários para que esta seja atingida, permitindo assim o início correto do teste. Caso seja impossível atingir estas condições, significa que existe um erro na máquina impossível de ser corrigido autonomamente, sendo necessário que este sistema ordene a sua paragem, esperando a intervenção de um operário.

Uma vez que sejam atingidas todas as condições necessárias para que o teste decorra sem problemas nem interrupções, será este sistema da máquina que irá dar a ordem para que os restantes efetuem a sua respetiva função. Quanto a esta ordem de funcionamento, para que a ação da máquina seja a que se pretende, esta ordem terá de ter por base as posições e variáveis medidas dos restantes sistemas da máquina, garantindo que os seus movimentos e ações estão coordenados entre si. Esta coordenação é essencial pois, sendo que existe uma ordem para as ações da máquina que terá de ser respeitada, é necessário que os diversos sistemas sejam acionados nos momentos corretos. De outra forma, o funcionamento da máquina não será o pretendido.

No que toca a esta ordem de ações, para além de ser o sistema de controlo que garante que esta é respeitada, é também neste sistema que esta terá de ser definida e programada. Um dos grandes requisitos da máquina é então que seja possível efetuar esta programação de forma simples, através da incorporação dos restantes componentes neste sistema, garantindo o seu correto funcionamento. Sendo a programação feita neste sistema, será também aqui que serão alterados todos os valores e variáveis referentes ao funcionamento dos restantes, tais como o número de cortes a efetuar, a distância de avanço de corte, facilitando assim a configuração dos diferentes testes a efetuar, e sendo todas as alterações efetuadas neste local.

Ainda relacionado com a programação do funcionamento da máquina, uma funcionalidade que será pretendida, embora não essencial, é o armazenamento de diversos programas diferentes, mediante a utilização de diferentes modelos de tesouras. Isto é, após a utilização da máquina para efetuar um teste a um certo modelo, deve ser possível armazenar as definições de configuração da máquina para que, caso seja necessário repetir o teste no mesmo modelo, ou num modelo com as mesmas dimensões e requisitos, o processo ser simplificado e não ser necessário voltar a programar todos os componentes da máquina.

Como foi referido anteriormente, um dos requisitos da máquina, a ser desempenhado pelo sistema de medição de carga, é a aquisição e registo de dados relativos á força efetuada pela tesoura aquando do corte de varões de madeira. No entanto, sendo o sistema de controlo um sistema de hierarquia superior e com maiores capacidades, podem remeter-se estas funções de registo e armazenamento para este, ficando assim o sistema de medição de carga responsável apenas pela medição.

Outro requisito inerente a este sistema é que permita a conexão ao computador. Esta conexão irá simplificar a programação do sistema, permitindo que esta seja feita através do computador, tornando também possível o registo de diversos programas de funcionamento, que posteriormente podem ser

selecionados e corridos novamente, sem ser necessário efetuar a sua programação de raiz. Outra funcionalidade que será disponibilizada por esta ligação ao computador será a transferência dos dados armazenados após o teste, caso este seja feito por este sistema, e por consequência o seu armazenamento no computador, permitindo posteriormente a comparação entre dados relativos a testes de diferentes tesouras.

Quanto às funções de segurança, estas marcarão presença em todos os restantes sistemas. Começando pelo sistema de medição de carga, será necessário que este consiga detetar, através da força medida, possíveis falhas no decorrer do teste. Isto passará por fazer uma análise aos valores de força e, caso estes sejam demasiado baixos, ou o valor seja nulo, pode assumir-se, por exemplo, que não existe material de corte na máquina, ou que esta não está a ativar a tesoura. Do mesmo modo, se os valores da força forem demasiado altos, ou não diminuam após o término da operação de corte, pode também assumir-se, por exemplo, que a tesoura se encontra encravada, ou que algo está a fazer interferência com a medição. De qualquer maneira, o valor de força medido terá de ser analisado em tempo real e, caso fuja aos valores expectáveis, assumir que existe um erro no funcionamento da máquina e não permitir que esta continue o seu funcionamento.

No que toca ao sistema de atuação, a função de segurança passará por analisar a posição dos atuadores, e dos respetivos mecanismos de atuação e, comparando a sua posição com a que seria expectável, definir caso a máquina esteja a funcionar de forma correta ou não. Tendo sido o movimento da máquina programado anteriormente, isto torna-se relativamente fácil pois as posições e movimentações a ser desempenhadas pela máquina são previamente conhecidas. Caso não sejam atingidas, assume-se que existe um erro com o sistema de atuação.

No que toca ao sistema de alimentação, será necessário verificar que o funcionamento que foi mencionado anteriormente é respeitado e efetuado de maneira correta, sendo isto possível através da utilização de sensores. O primeiro destes será utilizado para garantir que apenas é fornecido um varão à máquina, ou então, caso nenhum varão passa, definir que existe um erro com este armazenamento.

O segundo, terá de determinar quando a extremidade traseira do varão em corte atinge um certo ponto, deixando assim que seja inserido um novo varão no sistema. Estas verificações terão de ser feitas ciclo a ciclo, levando a máquina a agir mediante o seu resultado

O último requisito apresentado relaciona-se com a estrutura deste sistema e os componentes utilizados. Querendo que a máquina seja o mais simples e compacta possível, é necessário ter em conta os tipos de componente utilizados e as respetivas dimensões, e complexidade dos sistemas. Pretende

assim utilizar-se componentes que sejam o mais simples possível, quer em tamanho quer nas suas funções, sendo o ideal um sistema com o menor número de componentes extra possíveis.

Por último, um requisito que será aplicado a toda a máquina, é que todos os componentes escolhidos para desempenhar as funções de cada um destes sistemas sejam compatíveis entre si, não havendo problemas de compatibilidade entre estes, nem sendo necessário a utilização de adaptadores ou outros componentes de ligação extra.

3.4 Projeto Mecânico Final

Tendo sido definidos todos os requisitos inerentes ao funcionamento da máquina, pode então passar-se à idealização da mesma, começando a efetuar um desenho da estrutura primordial da mesma, que permita visualizar o seu funcionamento, e a capacidade de cumprir os requisitos enunciados.

Deste modo, apresenta-se na Figura 20 o primeiro conceito idealizado, onde se pode observar, de maneira geral, não só a estrutura completa da máquina, mas também alguns dos atuadores e componentes suplementares, cuja seleção e detalhes de funcionamento serão apresentados posteriormente.

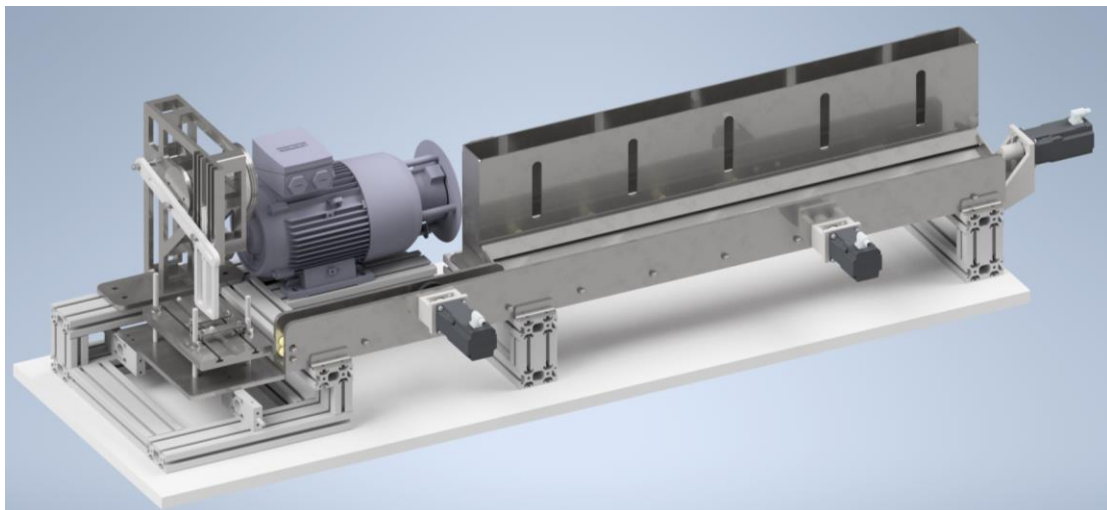


Figura 20 Modelação 3D da estrutura da máquina.

Pode assim, através desta modelação, fazer-se uma análise aos respetivos sistemas e ao seu funcionamento geral. Começando pelo sistema de medição de carga, este pode ser observado em

detalhe na Figura 21, podendo ser encontrado no canto inferior esquerdo da Figura 20, inserido na máquina.

A primeira particularidade que salta à vista é o facto de a estrutura ser totalmente construída em perfil de alumínio. Tomou-se a decisão de contruir a maior parte da estrutura base da máquina a partir deste material, dada a sua grande disponibilidade, facilidade de uso, adaptabilidade e resistência mecânica.

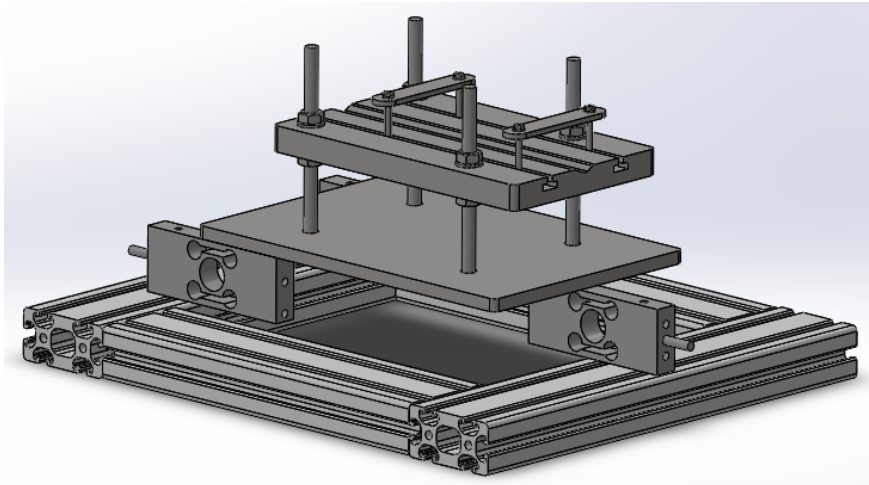


Figura 21 - Modelação 3D do sistema de medição de carga inserido na máquina.

De seguida aparecem, acoplados a este perfil de alumínio, 3 componentes nos quais toda a restante estrutura está apoiada, sendo estes as células de carga responsáveis pela medição da força de corte. Como pode observar-se, todos os restantes componentes do sistema de medição de carga estão apoiados nas células, o que é necessário para que, quando a força seja aplicada, toda esta seja sustentada pelas células e não existam interferências que alterem o valor medido

Estas células serão, como já foi referido, o componente responsável pela medição de carga. São estas que farão a conversão da força mecânica para um sinal analógico, que poderá posteriormente ser medido e convertido num valor concreto de carga. Para isto, será necessária uma série de componentes específicos à célula utilizada, que terão diversas funcionalidades. Não se apresentando nem na modelação nem neste capítulo, irá proceder-se posteriormente à sua seleção.

Quanto aos restantes componentes que podem ser observados, estes formam os mecanismos de aperto da tesoura, bem como de ajuste da posição da mesma. Assim, apoiada nas células de carga, aparece a plataforma sobre a qual toda a restante estrutura é montada, que é necessária dado que não

é possível a montagem dos restantes componentes diretamente nas células de carga, agindo assim como que uma interface entre ambos.

De seguida, podem observar-se 4 pinos que saem desta plataforma, nos quais está apoiada a mesa onde as tesouras são amarradas. Estes pinos, para além de servirem de apoio para esta mesa, servem também para efetuar a sua regulação vertical, permitindo assim o ajuste da altura da tesoura. Isto é conseguido através da utilização conjunta de varões rocados e porcas, que permitem o controlo da regulação da posição pelo utilizador.

Por último e no topo da imagem, pode observar-se a mesa onde as tesouras são amarradas. Como se pode verificar, existem nesta, duas calhas em forma de “T” nos quais estarão inseridas as amarras que irão prender as tesouras. Dada a sua geometria, estas calhas irão permitir a movimentação das amarras, o que por sua vez, irá possibilitar o ajuste horizontal da posição das tesouras, garantindo que estas são corretamente presas seja qual for a posição ou geometria das suas pegas.

Para além disso, pode ver-se um pequeno sulco no centro desta plataforma, que servirá de orientação para a tesoura em teste, garantindo que esta não fica desalinhada com o resto da máquina, fornecendo também um apoio para que esta seja colocada, facilitando a sua amarração.

Passando agora ao sistema de atuação, este pode ser observado na Figura 22, podendo também ver-se na parte inferior a estrutura de apoio do sistema de medição de carga, embora este não esteja presente. Da mesma maneira, apenas se apresenta representada a estrutura deste sistema, não estando presentes os atuadores nem restantes componentes.

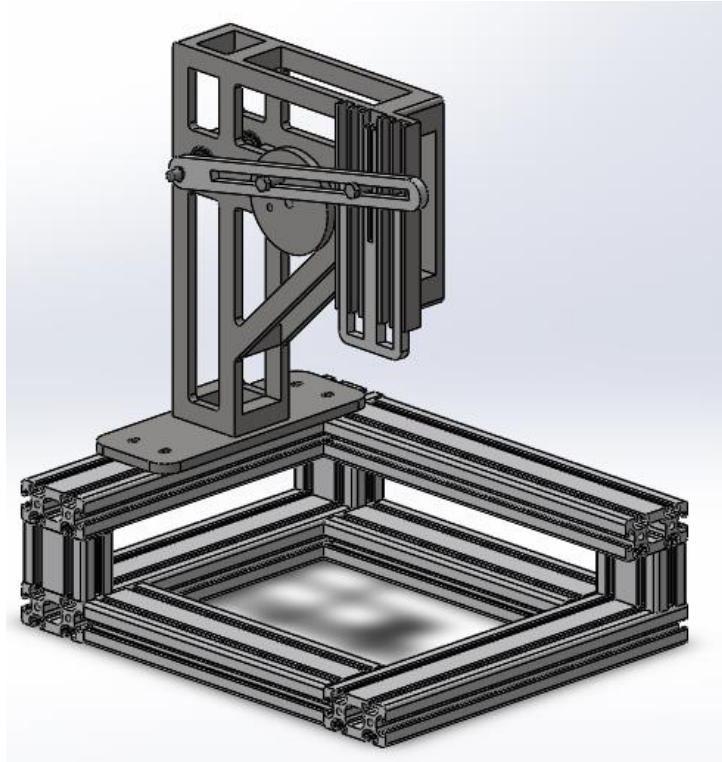


Figura 22 - Modelação 3D do sistema de atuação.

Começando pela estrutura base, pode observar-se que esta, mais uma vez, é construída em perfil de alumínio, tal como o sistema de medição de carga, sendo construído algo semelhante a um andar superior, com estrutura idêntica.

Apoiado neste perfil, apresenta-se toda a estrutura principal que alberga o mecanismo de fecho da tesoura. Esta estrutura foi desenhada tendo em mente a utilização da menor quantidade de material, a simplificação da estrutura, sendo capaz de aguentar todas as cargas às quais esta será submetida aquando do movimento de corte. Para além disso, como pode observar-se, esta estrutura foi idealizada com o propósito de evitar que, dadas as grandes cargas geradas durante o processo de corte, a estrutura sofra deformações ou flexione, garantindo sempre o alinhamento da mesma com as tesouras.

Acoplado a esta estrutura, apresenta-se o mecanismo de fecho da tesoura. Como pode observar-se, este é composto por uma barra grande transversal, que gira em torno de um ponto posicionado no lado esquerdo, uma came rotativa que faz mover esta barra transversal, e por último uma barra vertical, que é atuada pela barra horizontal. Esta montagem pode ser observada em detalhe na Figura 23.

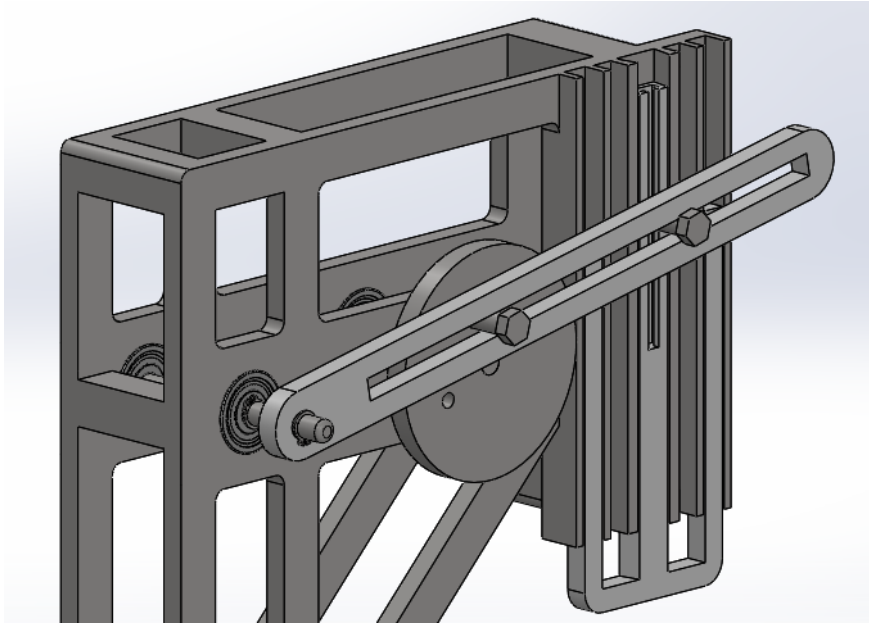


Figura 23 - Detalhe da modelação 3D do mecanismo de atuação das tesouras.

Este mecanismo será um ponto fulcral da máquina, sendo este um dos maiores responsáveis pela adaptabilidade da máquina a todos os modelos de tesoura, pelo que o seu funcionamento e os componentes que o compõem merecem uma análise detalhada.

Começando assim pelo lado esquerdo, pode observar-se o ponto de acoplamento da barra principal horizontal, estando esta encaixada num rolamento, o que permite assim a sua movimentação rotativa em torno deste ponto. Como é expectável, este encaixe permite a remoção da barra, de forma a executar operações que necessitem de acesso ao interior da estrutura, ou então para a substituição de componentes nos quais ocorra uma falha.

De seguida, e no centro da figura, apresenta-se a came rotativa que será ativada pelo atuador, que a fará mover, fazendo esta, por sua vez, mover a barra horizontal. Este é um dos pontos mais relevantes de todo este mecanismo, pois é aqui que existe a conversão do movimento rotativo gerado pelo atuador, para movimento linear que será utilizado para o fecho da tesoura.

É também neste ponto do mecanismo que irá conseguir regular-se a amplitude do movimento realizado pelo mecanismo. Como foi mencionado anteriormente, diferentes modelos de tesouras apresentam diferentes amplitudes de fecho, que terão de ser respeitadas pela máquina, ou seja, a amplitude do movimento efetuado terá de ser regulável e adaptável mediante o modelo de tesoura presente em teste.

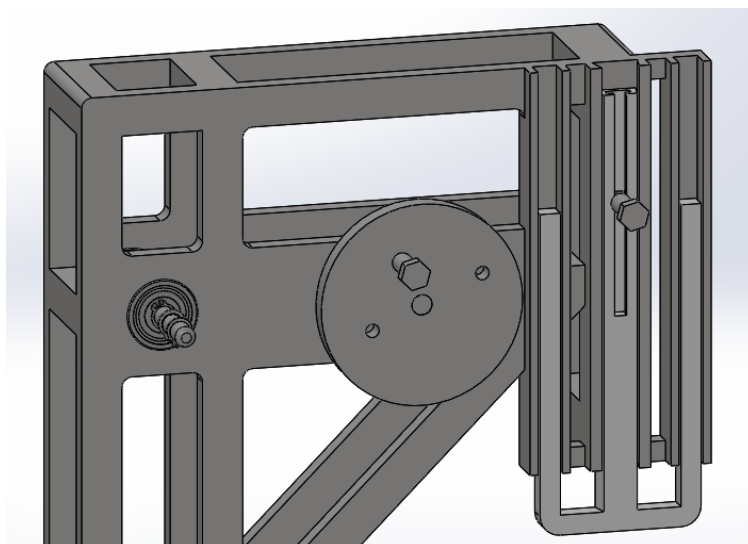


Figura 24 - Pormenor da came rotativa e dos encaixes para a barra horizontal.

Para este efeito, definiram-se três posições de acoplamento da barra horizontal na came rotativa, com raios diferentes, que irão assim, diminuir ou aumentar a amplitude de movimento do mecanismo, podendo esta observar-se na Figura 24 de forma detalhada, com a barra horizontal removida. Como pode ser analisado, existem dois furos de encaixe que se encontram vagos, estando o terceiro com um pino já encaixado.

Tendo sido considerado que alguns modelos de tesoura possuem uma amplitude de corte de valor semelhante, estes foram divididos em grupos que possuam amplitudes semelhantes. Posto isto, definiu-se o valor máximo de amplitude para cada grupo que, sendo respeitado pelo mecanismo, garante que todas as tesouras nesse grupo são corretamente abertas e fechadas. Uma vez definido este valor, resta definir as posições na came nas quais estes valores de amplitude de movimento são conseguidos, sendo estes, para o lote de tesouras possuídas, os que se apresentam na Tabela 11. Pode ainda observar-se na Figura 24 que existe algum espaço vazio, o que é intencional e foi feito de modo a permitir que mais encaixes sejam criados, possibilitando assim a adaptabilidade da máquina a outros modelos que a empresa deseje, que não constem no lote em estudo.

Tabela 11 - Posição dos encaixes relativos a cada um dos intervalos de amplitude definidos.

Amplitude de movimento (mm)	Raio do encaixe na came (mm)	Aplicado nos modelos de tesoura
120	33±1	A, B, F, G
100	28±1	C, E

87	24±1	D, H
----	------	------

O último componente deste mecanismo, denominado de barra vertical, é responsável por fazer a passagem do movimento gerando pela came rotativa para as tesouras, efetuando assim o seu fecho. Sendo esta barra ativada pela barra horizontal, existe também um ponto de encaixe entre estas duas, o qual, para além de ser utilizado para este acoplamento, é também responsável por permitir a regulação do ponto mais baixo de atuação.

Dado que as tesouras não apresentam apenas amplitudes diferentes, mas também variação no tamanho das pegas, não bastava regular apenas a amplitude, tornando-se necessário também regular esta posição inferior mais baixa. Assim sendo, este ponto de encaixe foi desenhado de forma a ser regulável, permitindo a adaptabilidade a qualquer que seja a tesoura em estudo. Isto é conseguido através da utilização de uma calha, na qual o encaixe desliza, podendo ser apertado em qualquer posição que seja desejável.

Para efetuar esta regulação, começa por colocar-se primeiro a tesoura na máquina, rodando de seguida a came até a posição mais baixa, garantindo que o encaixe nesta é o que corresponde à amplitude correta. Uma vez nesta posição, apenas é necessário encostar a barra vertical à tesoura na sua posição fechada, procedendo ao aperto do encaixe deslizável e definindo assim a posição mais baixa que o mecanismo irá atingir.

Outra particularidade desta barra é a sua geometria, a qual foi desenhada tendo diversas particularidades em mente. Começando pela sua parte inferior, pode observar-se que esta apresenta uma amplitude considerável, cuja funcionalidade é garantir que a tesoura é sempre atuada no ponto mais recuado da sua pega. Considerando que à medida que a tesoura é fechada, como o movimento efetuado por este ponto é de carisma circular, este irá alterar não só a sua posição vertical, mas também sofrerá um deslocamento horizontal, o que faz com que, para garantir que a tesoura é atuada neste ponto constante, seja necessário fazer a atuação acompanhar este movimento da tesoura, sendo isto conseguido com um atuador de geometria semelhante ao visualizado na Figura 24, em que a tesoura desliza ao longo da sua superfície.

Esta geometria é também relevante no que toca à utilização da máquina para o teste de diferentes modelos de tesouras que, como é expectável, terão diferentes comprimentos de pegas, garantindo que atuação é utilizável seja qual for o modelo de tesoura em teste.

Outra particularidade da geometria deste componente é o facto de, como pode ser observado, este ser acoplado à estrutura base do sistema de atuação, com a utilização de três calhas diferentes,

sobre as quais este componente desliza. Esta construção tem como objetivo prevenir que ocorram deslizamentos durante o fecho da tesoura, causados pela alteração do ponto de atuação, e dado que este irá impingir um certo grau de flexão da barra vertical, deslizamentos estes que fariam com que a barra encravasse na calha e deixasse de deslizar corretamente. A utilização de três calhas não só reforça a estrutura como também previne estes deslizamentos, garantindo assim que o movimento de fecho é efetuado sem paragens nem falhas.

Por último, apresenta-se o sistema de alimentação da máquina, que pode ser observado na Figura 25, na qual se inclui tanto a sua estrutura como os respetivos atuadores, e componentes de segurança essenciais ao seu funcionamento.

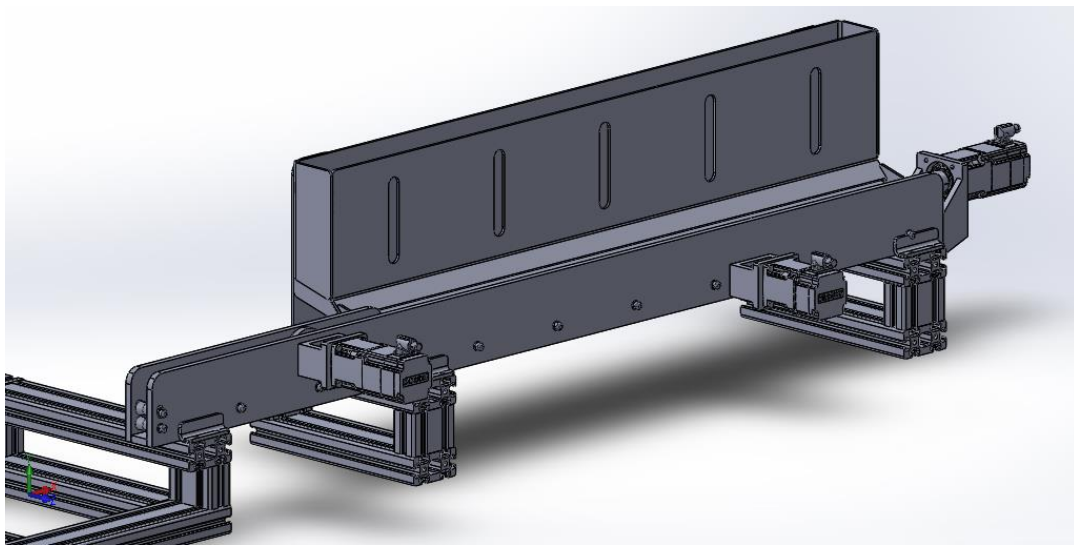


Figura 25 - Modelação 3D do sistema de alimentação da máquina.

Começa então por fazer-se uma análise à primeira secção deste mecanismo que se apresenta, sendo esta o armazenamento de material de corte e o respetivo sistema regulador do fluxo de varões, que podem ser observados na Figura 26.

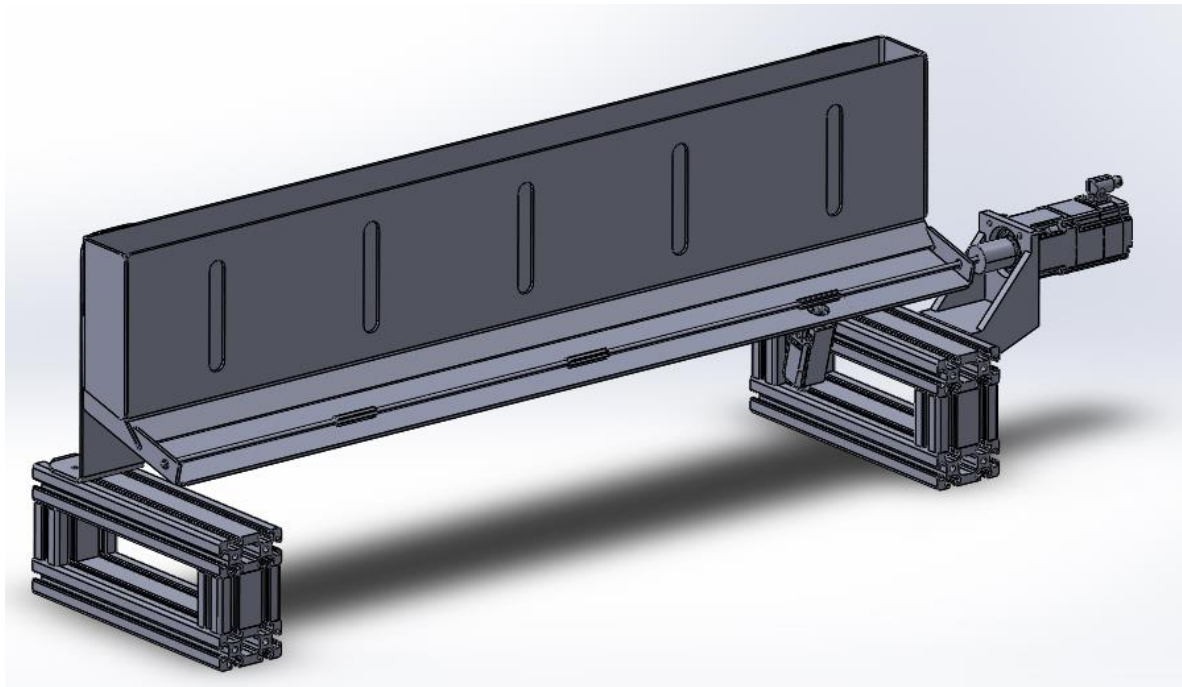


Figura 26 - Sistema de armazenamento e regulação de fluxo de varões de teste.

Como pode observar-se, mais uma vez a estrutura desta secção da máquina é construída em perfil de alumínio, apoiando-se neste o grande reservatório no qual serão armazenados os varões de corte. Tendo em conta a sua grande dimensão, este foi desenhado de forma a ser possível reduzir o seu peso e a sua complexidade, sem comprometer deste modo a sua resistência mecânica. A sua geometria foi também desenvolvida de forma a permitir a fluidez do movimento dos varões, evitando assim que estes encravem e causem uma pausa no processo de teste.

Os varões irão sair um a um, dado que a abertura do armazenamento apenas assim o permite e, uma vez que estes caem para a calha que pode ser visualizada na parte inferior, irão encontrar o mecanismo de regulação de passagem dos varões, que irá garantir o controlo da passagem dos veios para a máquina.

Como pode observar-se, este mecanismo é composto por um veio que atravessa toda a calha, veio este que possui ao longo do seu corpo três componentes acoplados. Estes, são compostos por uma sucessão de arcos com diâmetro semelhante aos varões de corte, e irão impedir a passagem destes. Quando o veio for rodado, irá ser possível o deslize de um varão, garantindo assim o controlo da movimentação dos varões. Este componente apresenta-se na Figura 27, que permite melhor perceber o seu funcionamento.

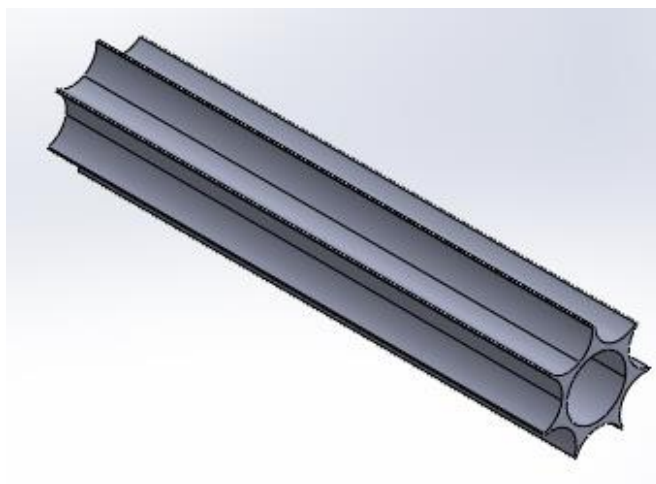


Figura 27 - Componente regulador de passagem de varões de corte.

Como pode ser observado também na Figura 26, este veio é controlado por um servomotor elétrico, podendo esta montagem ser observada em detalhe na Figura 28. Para além disso, nesta figura pode observar-se, inserido na estrutura da calha, um sensor, que será responsável por verificar a passagem dos varões, garantindo que ocorre a passagem de apenas um varão aquando da rotação do veio. Caso este sensor não existisse, iria existir o risco de rodar-se o veio, não passar nenhum varão, e que o teste seguisse sem nenhum veio na alimentação, o que não pode acontecer.

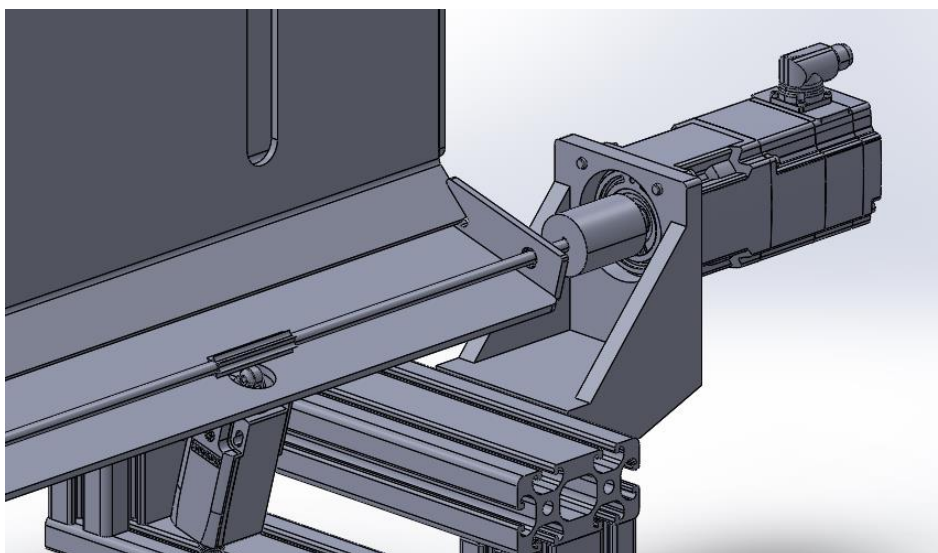


Figura 28 - Detalhe da montagem do motor elétrico e sensor de passagem.

Passando agora à secção seguinte do sistema de alimentação, esta pode ser observada na Figura 29, definindo-se como o mecanismo de alimentação das tesouras, responsável por fazer a movimentação controlada dos varões, efetuando o seu fornecimento às tesouras.

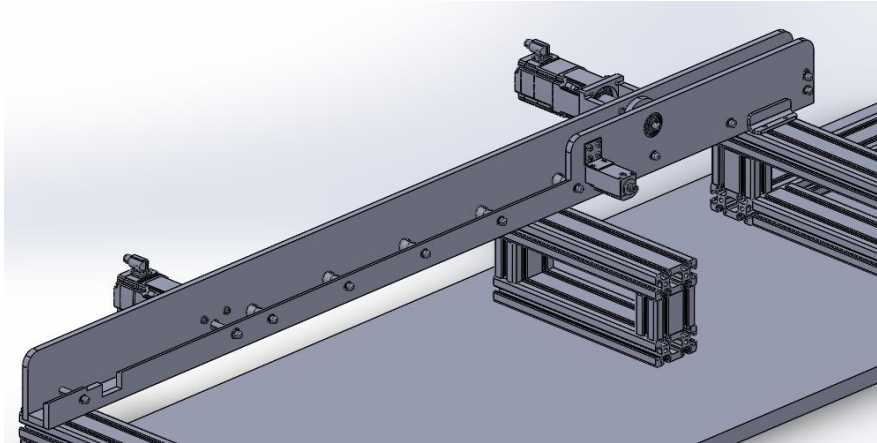


Figura 29 - Mecanismo de alimentação das tesouras.

Fazendo assim uma análise a este, começando pelo lado esquerdo, pode verificar-se uma abertura na estrutura metálica, bem como um servomotor elétrico. Será, em primeira instância, por esta abertura que os varões metálicos irão deslizar saídos do armazenamento, caindo assim dentro da estrutura, dentro da qual se irá apresentar um tapete rolante, controlado pelo servomotor elétrico, que efetuará o seu deslocamento até a frente da estrutura, onde se irão encontrar as tesouras em teste. Este tapete rolante estará presente apenas na retaguarda da estrutura, tendo sido desenhado de forma a garantir que o seu tamanho é suficiente para garantir que os varões atingem a posição requerida após serem inseridos na estrutura.

Após o tapete rolante, os varões irão deslizar em cima de rolos cónicos, inseridos nos veios que se apresentam ao longo da estrutura. Estes irão, para além de permitir o seu deslizamento, através da sua geometria, garantir a posição alinhada dos varões, fazendo com que estes deslizem para o centro, e que não percam assim o seu alinhamento com o resto da máquina. Este componente pode ser observado na Figura 30, o que permite entender melhor o seu funcionamento e geometria.

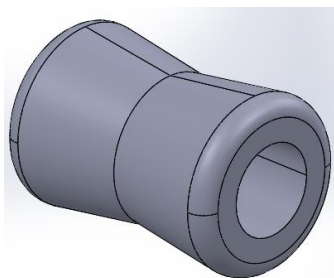


Figura 30 - Rolo cónico de deslize dos varões de corte.

Na Figura 31 pode observar-se aquela que será a última secção pela qual os varões irão passar antes de chegarem à tesoura e serem cortados. Apresenta-se esta secção em detalhe, com uma das

paredes da estrutura da estrutura do sistema de alimentação transparente, de forma a melhor se perceber o seu funcionamento. Pode ainda observar-se também de forma mais fácil, os rolos que foram exibidos na Figura 30.

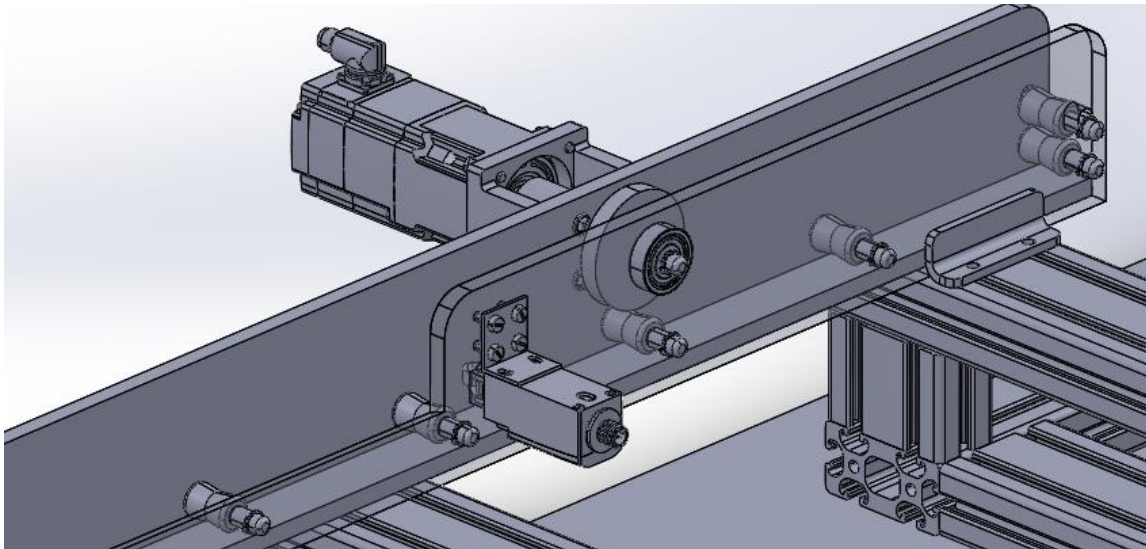


Figura 31 - Pormenor da secção final do sistema de alimentação.

Assim sendo, o primeiro componente que se exhibe, é um sensor semelhante àquele que foi mencionado anteriormente, que terá também um grande impacto no funcionamento da máquina. Este encontra-se após o final da calha pela qual os varões deslizam e irá ser responsável por detetar quando é que o varão que está a ser alimentado já passou a sua posição. O sensor estará sempre ativado, até que isto aconteça, momento no qual se torna seguro o fornecimento de um novo varão pelo regulador da alimentação. Este irá deslizar até à posição do sensor, ativando-o, e ficando o sistema assim à espera de nova ordem para fornecer o seguinte varão.

Após este sensor, pode ver-se uma came rotativa acoplada a um servomotor elétrico, que será responsável por fazer o movimento de alimentação controlado dos varões. Esta came apresenta duas secções com diâmetro diferente, numa das quais a came tocará no varão fazendo com que este deslize, e na outra, com diâmetro menor, apenas irá rodar sem contacto com o varão de corte, ficando este estático enquanto a tesoura efetua o seu corte.

Por último, apresenta-se um conjunto de dois rolos cónicos na extrema direita da estrutura, o inferior fixo, e o superior permitindo uma ligeira movimentação. Este conjunto será responsável por manter o varão no sítio e evitar que este se desloque verticalmente e saia da posição correta aquando da operação de corte, mas também para garantir o alinhamento do varão com a tesoura, e que existe

algo a segurá-lo dentro da estrutura, e que este não está simplesmente apoiado nos rolos de deslizamento.

Quanto ao pormenor do rolo superior ser móvel, o objetivo deste é que, aquando do corte, exista uma pequena folga para o varão se movimentar, garantindo assim que, qualquer deslocamento proveniente da ação da tesoura não faça com que a força aplicada fique apoiada no rolo, fornecendo assim um valor incorreto do valor da força medida.

Dando por terminada a análise do funcionamento geral da máquina, dos respetivos sistemas e o seu *design*, e antes de se poder passar para um processo de dimensionamento detalhado de todos os componentes, procedeu-se a construção de um protótipo do equipamento idealizado. Este protótipo tem como principal intuito a criação de um modelo físico que por sua vez permite analisar os diversos componentes e a estrutura e funcionamento global da máquina, para além de servir como um modelo demonstrativo da máquina que facilita a sua visualização e análise da interação dos componentes. Este, bem como o modelo CAD, foram analisados em conjunto com a empresa *Serafim Fertuzinhos S.A.* para se poderem afinar alguns pormenores de funcionamento de modo a aprovar o projeto.

Para a construção deste protótipo, por razões de acessibilidade, recorreu-se a uma impressora 3D com filamento PLA vermelho. O equipamento utilizado é da marca *Beethefirst* e pode ser observado na Figura 32, e possui um volume de impressão de 190x135x125 mm e uma resolução de 50 a 300 microm. Dado as dimensões máximas permitidas pelo equipamento adotou-se uma escala de $\frac{1}{4}$ bem como, para otimizar o tempo de impressão e dada a pouca importância do rigor da impressão, uma resolução de 200 microm.

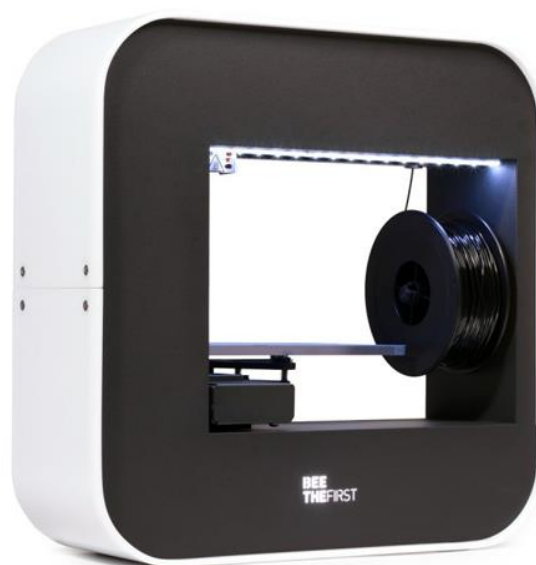


Figura 32 – Equipamento da marca Beethefirst utilizado para a impressão do protótipo do conceito desenvolvido.

A impressão dos componentes durou cerca de uma semana e o resultado pode ser observado na Figura 33, onde podem ser observados alguns detalhes dos diversos sistemas da máquina. De referir apenas que, devido à sua extensão, o sistema de alimentação foi seccionado e se imprimiram apenas as partes críticas para o seu funcionamento.

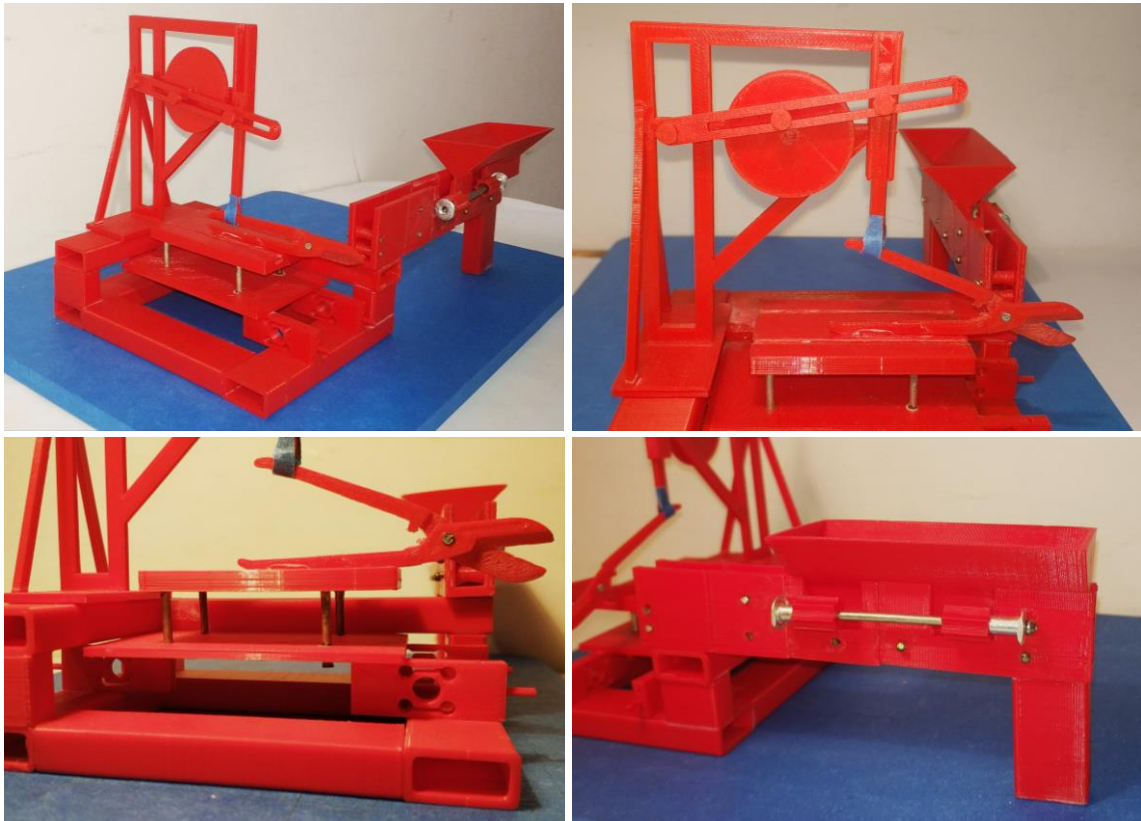


Figura 33 – Protótipo, impresso em PLA, do sistema de acionamento.

4. PROJETO DO SISTEMA MECATRÓNICO DO EQUIPAMENTO

Deste modo, tendo sido finalizada toda a análise primordial do funcionamento da máquina, bem como do trabalho realizado para o desenvolvimento da sua componente mecânica, consideraram-se conhecidas todas as variáveis necessárias para dar seguimento ao desenvolvimento da mesma, passando assim ao desenvolvimento do sistema mecatrónico.

Assim sendo, os capítulos seguintes tratam da análise dos métodos a utilizar para desempenhar as funções necessárias, o que permitirá fazer uma idealização dos respetivos sistemas, procedendo em última instância à seleção dos componentes que constituirão cada um destes.

4.1 Sistema de Medição de Carga

4.1.1 Métodos de Medição de Carga

Começando então pelo sistema de medição de carga, o ponto fulcral deste será o método de efetuar esta medição, pelo que se torna necessária uma análise das formas de o fazer, ganhando assim uma maior destreza no processo de desenvolvimento deste sistema. Tendo sido definido qual o método a utilizar para este efeito, a escolha de componentes simplificar-se-á e será feita tendo uma base científica concreta.

Na base de um sistema de medição de força, irá encontrar-se tipicamente uma célula de carga, definindo-se esta como um componente capaz de converter uma força aplicada, que neste caso será a força de corte gerada pela tesoura, num sinal elétrico capaz de ser lido externamente com um valor definido, variando este proporcionalmente à variação da carga aplicada. Estas dividem-se tipicamente mediante o seu método de medição de carga, sendo os mais comuns, e que serão analisados de seguida, hidráulico, pneumático e com extensómetro.

Começando assim pelo primeiro tipo, as células de carga hidráulicas são constituídas tipicamente por um sistema hidráulico simples, constituído por um pistão, no qual a carga é apoiada, e um cilindro. Quando a carga é posicionada em cima do pistão, este irá mover-se, dando assim origem a uma variação de pressão no fluido do sistema, a qual é lida por um manómetro, sendo amplamente utilizado para isto um tubo *Bourdon*, capaz de exibir esta pressão num ponteiro móvel com escala. Este valor resultante será um resultado analógico, podendo posteriormente ser convertido num sinal digital, capaz de ser lido por um computador e integrado num sistema eletrónico.

Este tipo de células apresenta diversas vantagens, entre elas não necessitar de nenhum componente elétrico para o seu funcionamento (disponibilizando apenas um valor analógico neste caso), o que faz com que seja um bom sistema a aplicar em áreas de atmosfera perigosa. Para além disto, dado que o sistema é isolado do exterior, o seu funcionamento e o valor resultante não serão facilmente alterados por condições externas, garantindo baixa variabilidade dos valores resultantes.

No entanto, apresenta também algumas desvantagens pois, sendo um sistema bastante simples, a sua precisão não será tão elevada como a dos restantes, sendo também, de maneira geral uma tecnologia mais cara que as demais.^{11 12}

Na Figura 34 pode observar-se uma representação do funcionamento básico de uma célula de carga hidráulica o que permite a sua melhor compreensão.

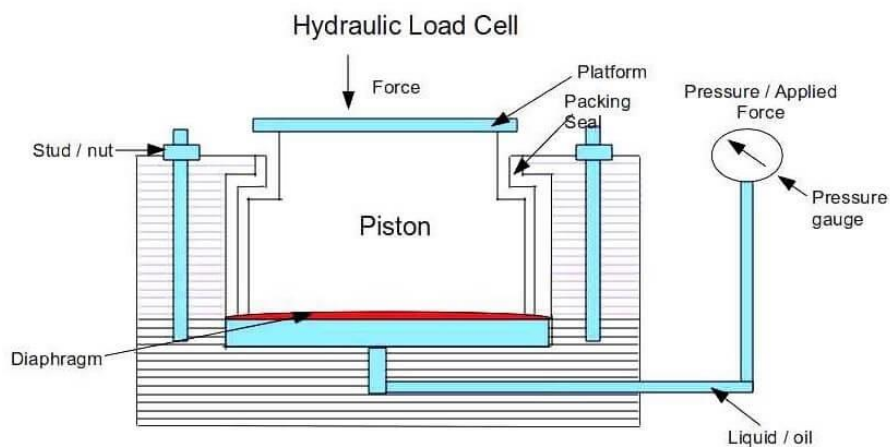


Figura 34 - Representação esquemática do funcionamento de uma célula de carga hidráulica.¹³

Quanto às células de carga pneumáticas, o seu funcionamento baseia-se na utilização de um circuito de ar comprimido. Este, usando um diafragma elástico, sendo que na parte superior deste se irá apresentar uma plataforma sobre a qual a carga a ser medida será apoiada, e na parte superior este estará acoplado a uma câmara de ar comprimido. Existe também uma abertura que permite a saída do ar no sistema, posicionada diretamente por baixo da plataforma

Quando uma carga é posicionada nesta plataforma, esta irá mover-se, deformando o diafragma e fechando a abertura de saída do ar, o que faz com que a pressão dentro do sistema aumente. Esta continuará a aumentar até que seja suficiente para balançar a carga aplicada na plataforma e devolver o diafragma à sua posição inicial, voltando a permitir assim a saída do ar pela abertura de escape. Neste momento a pressão no interior do sistema será medida com o auxílio de um manómetro, sendo esta

proporcional ao valor da força exercida na plataforma. ¹⁴ Na Figura 35 pode ver-se uma representação esquemática do funcionamento de uma célula deste tipo, de modo a facilitar a sua compreensão.

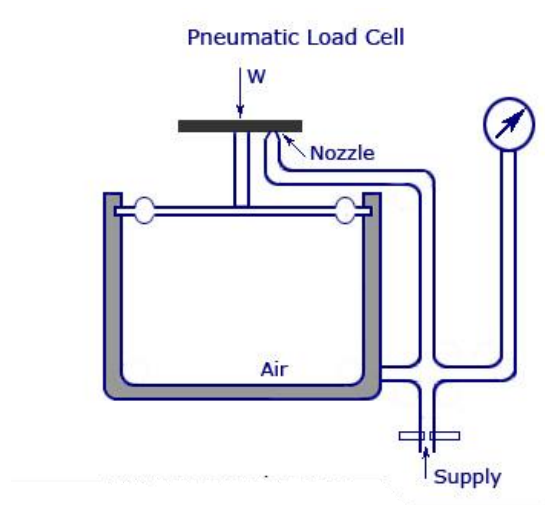


Figura 35 - Representação esquemática do funcionamento de uma célula de carga pneumática. ¹⁵

Este tipo de célula é tipicamente utilizado para a medição de cargas relativamente pequenas, dada a limitação do sistema pneumático, pois quanto maior a força a medir maior o tamanho requerido, sendo ideais para aplicação de grande segurança e higiene. A maior desvantagem destas é que possuem um tempo lento de resposta à aplicação de carga, e necessitam que o ar utilizado para o sistema de ar comprimido provenha de uma fonte segura e não possua contaminações ou humidade.

Por último, apresentam-se as células de carga com extensómetro, que são as mais utilizadas a nível industrial e em aplicações gerais de engenharia. Estas são caracterizadas por apresentar uma estrutura metálica, tipicamente de alumínio ou aço, simples e compacta, sobre a qual é aplicada a carga. Dentro desta estrutura existirá um conjunto de extensómetros aos quais é fornecida uma corrente elétrica de voltagem conhecida.

Estes extensómetros consistem num fio ou filamento metálico condutor, disposto da forma que pode ser observada na Figura 36, o qual possui uma resistência elétrica de valor conhecido. Dada a sua geometria, quando um extensómetro é sujeito a uma deformação, este valor de resistência elétrica vai alterar-se, podendo esta alteração ser medida posteriormente. ¹⁶

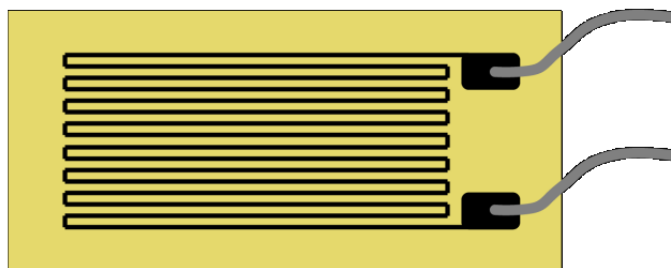


Figura 36 - Disposição do fio condutor de um extensómetro. ¹⁷

Considerando então que a carga exercida na célula fará com que esta se deforme, os extensómetros irão deformar-se também, o que faz com que a voltagem da carga que os atravessa seja alterada, sendo esta diferença medida posteriormente, e convertida para um valor concreto de força exercida. ¹¹

Sendo estas deformações geradas nas células de carga bastante pequenas e, deste modo, a variação da resistência dos extensómetros de igual magnitude, são tipicamente utilizados um conjunto de 4 extensómetros, dispostos num circuito do tipo ponte de *Wheatstone*, o que amplifica as variações descritas fornecendo uma maior facilidade na sua medição.

Na Figura 37 pode observar-se a montagem de uma célula de carga de extensómetro, apresentando-se à esquerda a montagem física da mesma, e a posição dos 4 extensómetros, e à direita o circuito elétrico de ponte de *Wheatstone*.

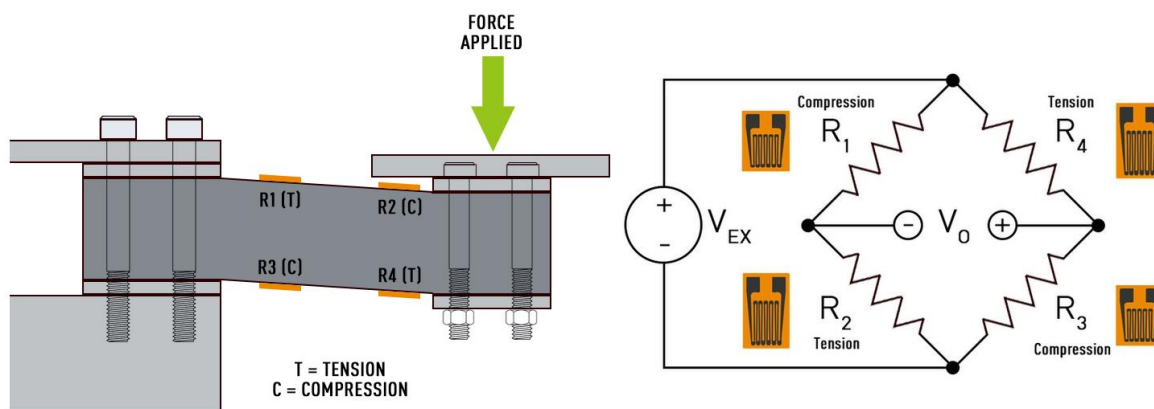


Figura 37 - Disposição de uma célula de carga e de uma ponte de *Wheatstone*.

Como pode verificar-se, quando aplicada uma carga na célula os 4 extensómetros irão deformar-se de maneira diferente, sendo a sua variação de resistência desigual também. Definindo-se V_{EX} como voltagem da corrente fornecida à célula, sendo o seu valor conhecido e constante, e conhecendo a variação da resistência de cada um dos extensómetros, quando esta atravessar o circuito, será possível

efetuar o cálculo de V_o , sendo este a voltagem de saída que irá corresponder a um valor de força exercida na célula.

4.1.2 Idealização do Sistema

Uma vez conhecidos os fatores mais influentes de cada tipo de método de medição de carga, torna-se então possível fazer uma idealização sensata deste sistema, sabendo quais os elementos mais adequados para o fazer.

Sendo o primeiro fator do sistema, e o que será mais influente, as células de carga, inicia-se esta idealização com a seleção das mesmas. Considerando todas as vantagens e desvantagens, praticidade de funcionamento e facilidade de aplicação na situação em questão, pode determinar-se que o tipo de célula mais prático e mais benéfico será o de extensómetro. Sendo estas constituídas por uma estrutura metálica simples, a sua integração na estrutura da máquina será mais fácil que as restantes, para além de que a obtenção do valor de força será mais simples com a utilização de células deste tipo.

Como já referido anteriormente, o acoplamento da tesoura à máquina será feito através do seu posicionamento numa plataforma dimensionada para este efeito. Para além disso, o fecho da tesoura irá gerar cargas axiais e de torção na plataforma, que têm de ser minimizadas.

Sendo que esta plataforma terá de ser apoiada nas células de carga para permitir uma medição correta do valor de força, e que será de uma dimensão ainda considerável, não será possível a utilização de apenas uma célula de carga, pois esta ficaria sujeita a forças externas demasiado elevadas, o que poderia levar à sua falha ou a medições totalmente incorretas. Assim sendo, é necessário que seja utilizado um conjunto de células, dispostas de forma estratégica, para evitar os fatores mencionados anteriormente.

Uma vez que a carga seja aplicada nas células e que estas emitam o respetivo sinal elétrico que foi referido anteriormente, correspondente ao valor da carga medida, torna-se necessário fazer a seleção de componentes adequada para que este seja convertido num valor concreto e utilizável para a aplicação em questão. Serão também estes restantes componentes, dos quais irá compor-se o sistema de medição de carga, que serão responsáveis por realizar as demais ações que foram mencionadas anteriormente e que serão essenciais ao seu funcionamento.

Assim, será feita de seguida esta seleção de componentes, tendo em conta todos os requisitos impostos e as funções a desempenhar, tendo o cuidado de explicar o funcionamento de todos os componentes e suas funcionalidades.

4.1.3 Seleção de Componentes

Passando então à seleção de componentes, decidiu partir-se da seleção das células de carga, e construir o restante sistema de medição de carga à volta destas. Como foi referido anteriormente, é necessário que todos os componentes dos diversos sistemas considerados sejam compatíveis entre si. De forma a simplificar a resposta a esta condição optou-se por selecionar, para todos os sistemas, componentes de apenas um fornecedor, sendo este a marca *SIEMENS*, que providencia um grande leque de componentes direcionados para as mais diversas aplicações, capazes de corresponder a todos os requisitos apresentados para a máquina. Para além disso, a escolha da marca surge da sua forte presença no mercado, facilidade de assistência técnica, ou até mesmo acesso a componentes para substituição, o que facilita tanto a construção da máquina como a sua manutenção.

Deste modo, começaram por analisar-se as células de carga disponibilizadas por este fornecedor, cuja gama de produtos se intitula *SIWAREX*. Pode concluir-se à primeira vista que o funcionamento de todas estas é baseado na utilização de extensómetros, montados na configuração de ponte de *Wheatstone*.

Quanto às diferenças entre os diversos modelos, estas apresentam-se na construção e geometria das mesmas e na carga que estas são capazes de suportar, variando de modelo para modelo.^{18 19} Para além disto, e aquilo que será a maior diferença entre os diversos modelos, apresenta-se o seu domínio de aplicação, com algumas células direcionadas para a utilização em plataformas de pesagem, outras para a pesagem de contentores suspensos, pesagem de funis de carga, para a aplicação em veículos de pesagem ou ainda para pesagem em balanças de tapete, com possibilidade de muitas outras aplicações.

Como já foi referido anteriormente, pretende utilizar-se uma plataforma para o acoplamento da tesoura à máquina, pelo que será necessário selecionar um modelo de célula de carga compatível com esta aplicação. Em conjunto com isto, é também necessário que a célula de carga seja capaz de aguentar com a força a ser aplicada no momento de corte, que já foi referida anteriormente, não podendo ser nem demasiado baixa para evitar risco de falhas deste componente, nem demasiado alta, pois irá perder-se a resolução no valor medido, o que invalidará a utilização da máquina.

Assim sendo, começou por selecionar-se o modelo de célula de carga mais indicado para desempenhar esta função. De todos os disponibilizados pela *SIEMENS* na gama *SIWAREX*, os que destacam são os modelos *single point*, células de carga com ponto de apoio simples, ideais para utilização em plataformas, disponibilizando modelos com capacidade de carga de valor ideal para o

requerido. Para além disso, os restantes modelos apresentam ou, cargas nominais demasiado elevadas, ou impossibilidade ou grande dificuldade de integração na aplicação em questão.

O segundo fator a ter em conta, é a limitação do tamanho da plataforma que é implicada por cada modelo de célula de carga, sendo que este apresenta um valor máximo que não pode ser ultrapassado. Para o caso em estudo, definiu-se a dimensão mínima de 350x350 mm, que a maioria deste tipo de células respeita. Assim sendo, tomou-se a decisão de utilizar a célula de carga de modelo *SIWAREX WL260 SP-S SB*, dado que esta respeita todas as condições impostas anteriormente, sendo ainda disponibilizada em modelos de carga nominal desde 6 a 60 kg, o que é suficiente para a aplicação em desenvolvimento.

Resta apenas selecionar a carga nominal das células, o que irá depender da montagem das mesmas. Como foi referido anteriormente, pretende utilizar-se uma plataforma suportada com um conjunto de células e não apenas uma célula por si só, de modo a evitar cargas e movimentações indesejáveis da plataforma.

Uma breve consulta ao manual de instruções de operação das células ²⁰, permite verificar que o fabricante recomenda a utilização de três células como suporte para situações deste tipo. Isto porque, utilizando 4 ou mais pontos de suporte, quando a carga é aplicada na plataforma, é impossível descartar a possibilidade de esta ficar suportada apenas por duas células diagonais, quer porque estas sofram uma pequena deformação quando a carga é aplicada, quer por ocorrer a má montagem das mesmas ou por ocorrerem deformações na estrutura. Contrariamente a isto, caso sejam utilizadas apenas 3 células, irá garantir-se a carga está corretamente apoiada em todas elas em todos os momentos, assegurando que não existem sobrecargas em nenhuma das células da máquina.

Existe, no entanto, a necessidade de utilizar um coeficiente de segurança para a seleção da carga nominal das células, que é indicado no manual como sendo de 20%. Deste modo, considerando a carga máxima possível de ser aplicada de 80 kg, com a aplicação deste coeficiente de segurança obtêm-se o valor de 96 kg. Quando dividido pelo número de pontos de apoio, obtém-se o valor de 32 kg, que permite determinar a carga mínima que cada uma das células tem de ser capaz de suportar. Pode então finalmente selecionar-se a carga nominal das 3 células de carga a utilizar, sendo esta 60kg, terminando-se assim a seleção deste primeiro componente.

No seguimento da utilização das células de carga para a medição da força exercida, é necessário converter o sinal que estas emitem num valor numérico capaz de ser lido pelo utilizador. Para isto, é necessário utilizar um módulo de pesagem, da mesma gama *SIWAREX*, que irá trabalhar em conjunto com as células de carga para obter o valor de força aplicada.

No entanto, antes de se poder efetuar a ligação das células a este módulo de pesagem, dado que este apenas possui uma entrada de sinal, e que serão utilizadas 3 células, é necessário incluir no sistema uma caixa de junção, que irá converter os três diferentes sinais elétricos resultantes de cada uma das células, num sinal simples correspondente ao somatório dos restantes.

Para este efeito foi selecionada a caixa de junção *SIWAREX JB*²¹, que possui 4 entradas de sinal, é compatível com as células selecionadas e com todos os módulos de pesagem da gama, e é capaz de efetuar todas as funções requeridas.

Posto isto, segue-se com a seleção do módulo de pesagem que foi referido anteriormente, que será responsável pela leitura do sinal emitido pelas células. Analisando os produtos disponibilizados pelo fornecedor¹⁹, pode observar-se que os diferentes modelos destes módulos são orientados para vários tipos de aplicações tais como, medição de carga em plataforma, medição de carga movel em tapetes rolantes, medição de torque aplicado, entre outros tipos de funções diferentes.

De todos estes, aquele que reflete o funcionamento da máquina em desenvolvimento é a medição de carga em plataforma, pelo que se limitaram os módulos de pesagem a utilizar a este tipo. Todos os módulos disponibilizados nesta modalidade serão capazes de desempenhar as funções e requisitos que já foram apresentados anteriormente, pelo que a sua seleção foi feita tendo por base a simplicidade de uso e de aplicação no conceito da máquina em desenvolvimento. Assim sendo, foi selecionado o módulo *SIWAREX WP521 ST*²², que de todos é o que apresenta a maior simplicidade de utilização quando comparada com as suas funções.

Este pode ser facilmente programado, e as suas definições alteradas da maneira que o utilizador desejar, de forma bastante fácil, através da ligação a um computador. Isto, em conjunto com o *software SIWATOOL*²³, de configuração de módulos de pesagem, permite aceder a todas as funcionalidades do módulo, efetuar a sua calibração e programação e fazer com que a medição de carga pelas células seja certa e providencie valores exatos que serão utilizados para a caracterização das tesouras.

Para além disto, é também este módulo que fará os ajustes que necessitem de alteração aquando do início dos diferentes testes efetuados, tais como a tara da balança, a frequência de medição de carga, e envio dos valores para o sistema de controlo de forma a que este os registre.

Convém referir que este módulo de pesagem funciona tanto em aplicação autónoma como integrado num sistema de controlo com um PLC *SIEMENS*. Pretendendo, como já foi mencionado anteriormente, integrar-se o sistema de pesagem num sistema de controlo geral, será esta última modalidade de funcionamento que será utilizada.

Estes três componentes serão o núcleo deste sistema, sendo responsáveis por todas as operações que serão requisitadas ao mesmo. No entanto, fazendo uma consulta ao catálogo no qual estes são disponibilizados, pode concluir-se que, para o seu bom funcionamento, é necessário incluir os demais componentes específicos de ligação e componentes suplementares, sem os quais a sua operação será inválida.

Estes componentes passam por: um cabo de ligação entre a caixa de junção de sinal e o módulo de pesagem, sem o qual será impossível efetuar a transmissão deste sinal, um conector do módulo de pesagem utilizado para ser possível fazer a conexão das células de carga, e por último, um cabo para a conexão do módulo de pesagem ao computador, que irá permitir a sua programação e configuração como foi mencionado anteriormente. Em último lugar, destaca-se a necessidade de um *software* específico para a configuração das células e do respetivo módulo de pesagem, sendo este o *software SIWAREX SIWATOOL*.

A conexão em específico destes componentes e dos demais será um tópico que irá ser abordado em detalhe num capítulo posterior, bem como a sua montagem no contexto da máquina. Todos estes componentes podem ser analisados com maior detalhe na lista de componentes apresentada no Anexo I.

4.2 Sistema de Atuação

4.2.1 Métodos de Atuação

De maneira semelhante ao que foi efetuado anteriormente para o sistema de medição de carga, antes de se efetuar a seleção dos componentes que irão constituir o sistema de atuação, é necessário fazer uma análise do mesmo e de como será possível que este atinja os seus objetivos. Sendo a sua função principal a movimentação e atuação do mecanismo de fecho das tesouras, este estudo primário irá focar-se nos diversos métodos de atuação que poderão possibilitar estas ações.

Um atuador define-se como sendo um dispositivo que irá efetuar um movimento controlado, sendo este movimento rotativo ou linear. No que toca a atuadores lineares, estes possuirão, tipicamente uma amplitude de movimento limitada, ao contrário dos atuadores rotativos cujo movimento é tipicamente ininterrupto. ²⁴

Todos os atuadores irão necessitar de um sinal de controlo e de uma fonte de energia, sendo através de esta última que estes serão caracterizados. Deste modo, irão dividir-se em três tipos

fundamentais que poderão ser utilizados no projeto em desenvolvimento, sendo estes atuadores hidráulicos, atuadores pneumáticos e atuadores elétricos.

Deste modo, iniciando-se este estudo pelos atuadores hidráulicos, estes, como o próprio nome indica, utilizam uma fonte de energia hidráulica para gerar uma movimentação, que pode ser rotativa ou, mais frequentemente, linear. Dada a taxa de compressibilidade quase nula dos fluidos utilizados neste tipo de atuadores, torna-se possível exercer através de estas forças de elevado calibre.²⁵

Estes atuadores são disponibilizados em variados formatos e *designs*, sendo, no entanto, o mais comum o tipo de pistão cilíndrico, podendo este ser de simples ou dupla ação. Estes atuadores consistem, tipicamente, de um cilindro exterior, dentro do qual desliza um pistão, sendo que este último faz com que surjam duas câmaras isoladas dentro do cilindro.

No que toca aos atuadores de ação simples, uma destas câmaras estará vazia, contendo apenas uma mola que fará com que o pistão volte sempre à sua posição mais retraída. A segunda câmara será preenchida com o fluido hidráulico que lhe será fornecido, aumentando assim a pressão no seu interior, e fazendo deslocar o pistão no sentido contrário, quando a força gerada pela pressão for suficiente para contrariar a força exercida pela mola. Uma vez que o fluido deixe de ser fornecido à câmara, a força da mola irá sobrepor-se à pressão, fazendo assim o pistão voltar à sua posição recuada, e escoando o fluido que foi introduzido na câmara. (Instrumentation Tools, 2020)

É através da regulação da quantidade de fluido que se torna possível posicionar o pistão na posição pretendida, sendo capaz de obter-se grande precisão do movimento. Para fornecer o fluido hidráulico ao pistão é tipicamente utilizado uma bomba, que efetua o seu deslocamento recorrendo à pressurização de fluido que se encontra num reservatório.²⁷ Na Figura 38 pode observar-se uma representação esquemática deste tipo de cilindro.

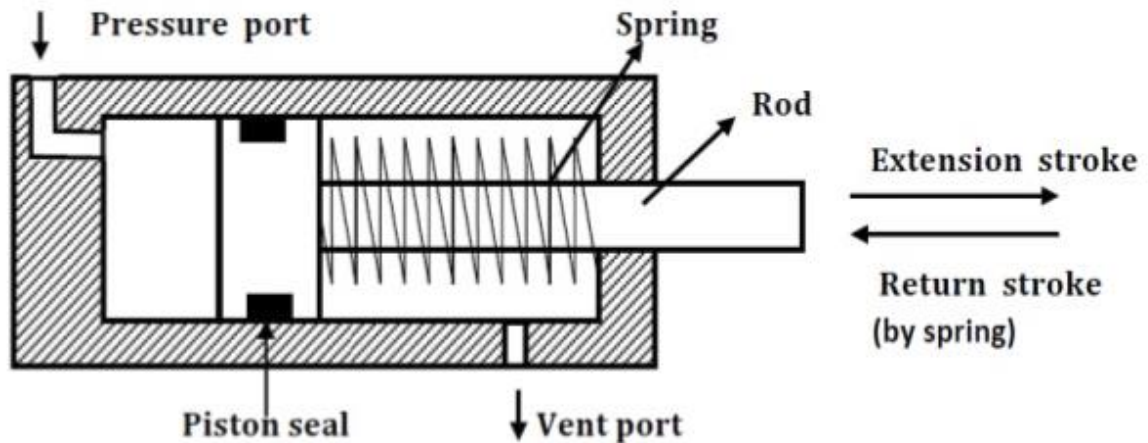


Figura 38 - Representação esquemática de um cilindro hidráulico de ação simples. ²⁸

Quanto aos cilindros de dupla ação, neste caso, a primeira câmara não se irá encontrar vazia nem possuirá uma mola, mas será também cheia com o fluido hidráulico. Quando for imposta, pela bomba hidráulica, uma diferença de pressão entre as duas câmaras do cilindro, o pistão irá mover-se, na direção da câmara com menor pressão, sendo que esta irá perder algum fluido, enquanto que a outra irá encher-se proporcionalmente. Pode observar-se na Figura 39 uma representação esquemática deste tipo de atuadores, onde se pode ver o atuador em movimentação em ambos os sentidos, e a respetiva direção de escoamento do fluido hidráulico para cada um destes.

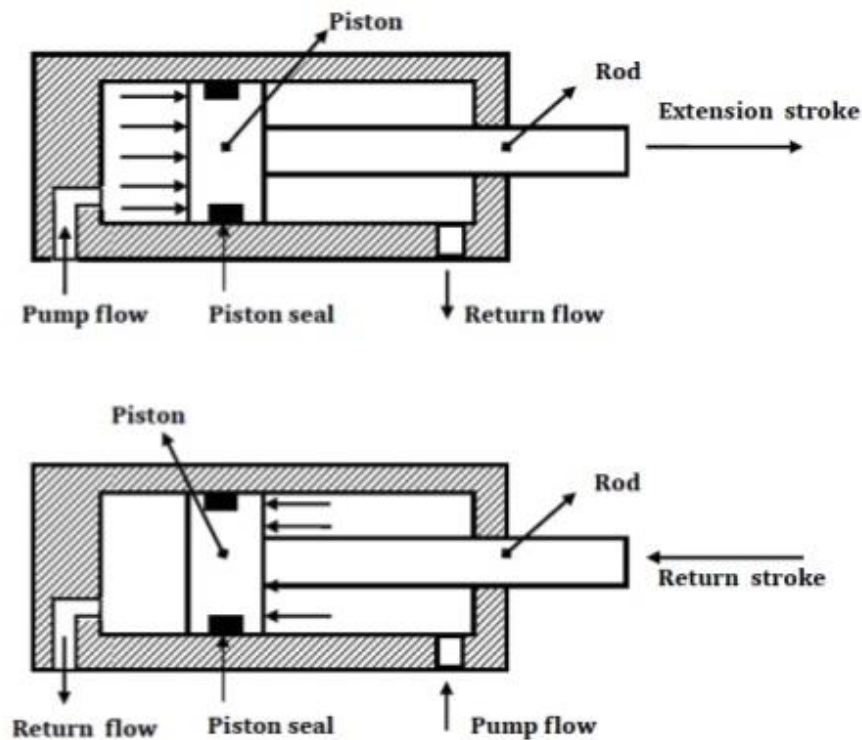


Figura 39 - Representação esquemática de um atuador hidráulico de dupla ação. ²⁸

Quando comparados com cilindros de ação simples, os de dupla ação permitem exercer um maior controle sobre o movimento efetuado, permitindo maior precisão do mesmo. Da mesma maneira, a força exercida será mais exata, sendo estes mais indicados para utilizações que necessitem de aplicação de força nos dois sentidos. ²⁸

As maiores vantagens deste tipo de atuadores passam pela sua grande resistência ao desgaste, permitindo a sua aplicação em condições de funcionamento árduas, a capacidade de exercer força em grande magnitude e manter esta força sem ser necessário o trabalho contínuo da bomba hidráulica, podendo esta encontrar-se distante do atuador sem que existam perdas de carga consideráveis. ²⁷

Este apresentam também algumas desvantagens, destacando-se que, durante a vida útil de um atuador hidráulico, irão surgir eventualmente fugas de fluido, que irão levar à sua perda de eficiência, para além de isto poder criar uma contaminação do seu espaço envolvente, podendo até danificar alguns componentes vizinhos. Para além disto, a criação de um sistema hidráulico requer uma grande quantidade de componentes extra além dos que já foram referidos, o que leva a que seja difícil a sua utilização em espaços diminutos, para além de aumentar a dificuldade e custo de eventuais operações de manutenção. ²⁷

Quanto à utilização de atuadores pneumáticos, o funcionamento destes será bastante semelhante ao funcionamento dos atuadores anteriores. Como o seu nome indica, utilizam um gás pressurizado, tipicamente ar, como fonte de energia para efetuar o seu deslocamento, sendo utilizado para obter este gás, e efetuar o seu controlo, regularmente bombas ou compressores de ar. ²⁷

Sendo capazes de produzir tanto movimento rotativo como linear, é este último o mais frequente, onde são utilizados, apresentando-se também sobre a forma de um mecanismo de cilindro com pistão deslizante no seu interior, podendo ser de ação simples, com uma mola na câmara vazia para efetuar o retorno do pistão, ou de ação dupla, em que as duas câmaras são cheias ar pressurizado. Paralelamente aos atuadores hidráulicos, é a alteração da pressão dentro de cada uma das câmaras que fará com que o pistão se desloque produzindo o movimento desejado. ²⁹

Contrariamente aos atuadores hidráulicos que são bastante empregues para utilizações em que é necessário exercer força de forma constante e controlada, os atuadores pneumáticos, embora capazes de gerar elevados valores de força, estes não são tão altos como os anteriores, e não possuindo o mesmo nível de controlo da movimentação. Deste modo, atuadores pneumáticos são amplamente utilizados para aplicações em que se pretende efetuar esta deslocação de forma veloz e precisa. ²⁶ Isto acontece dada a taxa de compressibilidade elevada dos gases utilizados em atuadores pneumáticos, que faz também com que estes sejam menos eficazes que os demais. ²⁷

Para além disso, este fator faz com que tenham de ser geradas sempre pressões elevadas no ciclo de utilização destes atuadores, sendo necessário que estas sejam mantidas mesmo que nada se esteja a deslocar, para ser possível manter a posição do atuador. Isto leva também a que, uma tentativa de efetuar operações com pressões de câmara mais baixas, gere valores de força e velocidade de atuação menor, o que altera o funcionamento do atuador. ²⁷

Outra desvantagem relevante deste tipo de atuadores é que, para o seu funcionamento ser o correto e mais eficaz, o sistema pneumático por detrás do mesmo terá de ser dimensionado especificamente para os requisitos considerados, não podendo ser adotada uma solução geral. Para além disto, os sistemas pneumáticos necessários são formados por um grande leque de componentes, alguns de tamanho considerável, o que faz com que este tipo de sistemas seja por vezes difícil de aplicar em locais com pouco espaço, para além de poderem apresentar custos e problemas de manutenção.

No entanto, não obstante o grande número de componentes, estes atuadores são um mecanismo bastante simples, principalmente no que toca ao seu controlo. Para além disso, uma das suas maiores vantagens é a grande segurança proveniente da sua utilização, dado que os gases utilizados não tendem a incendiar-se nem a reagir com elementos do exterior. ²⁹ Podem também, para além disto,

estar sujeitos a temperaturas extremas sem que estas afetem o seu funcionamento, o que faz com que sejam indicados para utilização em aplicações em áreas perigosas.

Por último, apresentam-se os atuadores elétricos, mais frequentemente denominados de motores elétricos. Sendo também capazes de gerar um movimento linear ou rotativo, apresentam-se mais regularmente da última maneira. Como o próprio nome indica, estes têm como fonte de energia a energia elétrica, sendo capazes de fazer a sua conversão para um movimento contínuo.

Sendo um dos atuadores mais utilizados na indústria, em todas as formas e tamanhos, estes apresentam diversas tipologias diferentes, distinguindo-se tanto pelo tipo de corrente utilizada, pela sua construção interna e demais constituinte. No entanto todos os motores elétricos se baseiam num princípio semelhante de funcionamento, sendo este o eletromagnetismo.

Este afirma que, uma corrente elétrica que atravesse um fio ou bobina devidamente concebidos irá gerar um campo magnético. Através deste fenómeno, um motor elétrico será concebido de maneira a ser capaz de gerar um certo número de campos magnéticos variáveis, diferentes e devidamente controlados. É necessário considerar ainda que num íman, polos semelhantes repelem-se e polos iguais atraem-se.

Através da junção destes dois conceitos, torna-se possível contruir um mecanismo em que, a variação do campo elétrico gerado, faça mover um íman de forma constante e controlada. Normalmente, esta construção é efetuada da maneira que pode ser observada na Figura 40, sendo o íman rotativo colocado no centro, e construída à volta deste uma estrutura circular que irá conter os componentes responsáveis pela criação dos diferentes campos magnéticos.

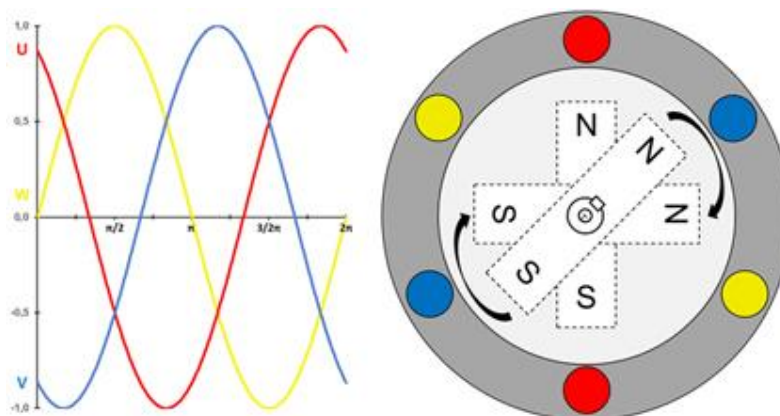


Figura 40 - Representação esquemática da construção de um motor elétrico básico. ³⁰

Como pode ser observado, cada uma das cores, vermelho, azul e amarelo, representa um campo elétrico diferente, que será ativado num determinado momento, efetuando o deslocamento do íman

central. Pode também observar-se à esquerda a evolução da intensidade destes campos magnéticos ao longo de uma rotação, o que permite concluir como estes interagem entre si. De forma a transmitir este movimento ao exterior, o íman possui usualmente um veio acoplado que gira em conjunto, e pode ser posteriormente acoplado ao mecanismo que for necessário movimentar. ³⁰

Uma das maiores vantagens apresentadas por este tipo de atuador é a grande precisão e repetibilidade da posição que é possível obter com a sua utilização. Para além disso, é possível o uso deste tipo de atuadores nos mais diversos tipos de aplicações em qualquer nível força requerida, garantindo sempre uma operação mais silenciosa e suave do que com a utilização dos demais.

Outro dos grandes benefícios dos atuadores elétricos, é a capacidade de estes serem programados e conectados entre si, sendo os seus movimentos devidamente coordenados, podendo isto ser feito de forma digital. Isto permite também efetuar um diagnóstico rápido dos mesmos, oferecendo um *feedback* imediato que facilita a manutenção destes sistemas. Esta digitalização oferece também um controlo completo do perfil de movimento, sendo possível controlar em tempo real a velocidade, posição, torque e força aplicada que provêm do motor.

Estes atuadores apresentam algumas particularidades que têm de ser consideradas aquando da sua seleção, destacando-se o facto de serem sensíveis à utilização em alguns ambientes perigosos, podendo apresentar algum risco de explosão neste caso. Do mesmo modo, caso estes atuadores sejam utilizados de forma contínua e com grandes cargas, pode ocorrer o seu sobreaquecimento, o que causa danos nos componentes interiores e pode danificar o seu funcionamento.

4.2.2 Idealização do Sistema

Posto isto, pode efetuar-se então a seleção de um atuador definitivo, e seguindo-se com o processo de idealização do sistema de atuação. Considerando o funcionamento deste sistema que já foi explicitado anteriormente, começa por integrar-se o atuador neste funcionamento.

Tendo em consideração todos os fatores e detalhes de funcionamento dos diferentes tipos de atuadores que foram referidos anteriormente, optou por escolher-se para a máquina um atuador elétrico, que será responsável pela movimentação da came rotativa. Este será o método de atuação mais simples de aplicar no contexto da máquina em desenvolvimento dado que se evita a necessidade da seleção de componentes como reservatórios e tubagens e outros componentes que seriam necessários para a utilização de um sistema de atuação pneumático, sendo apenas necessário selecionar os componentes de controlo do motor.

Sendo que o movimento que a barra vertical terá de fazer para efetuar o fecho da tesoura será do tipo linear, um atuador deste tipo poderia parecer uma boa opção, no entanto, uma análise mais detalhada do seu funcionamento revela a existência de forças axiais e de torção. Caso o atuador utilizado seja do tipo linear, pode determinar-se que estas forças externas estarão aplicadas diretamente neste, o que poderá levar a desvios no seu movimento, o que conseqüentemente pode levar ao seu desgaste prematuro ou falha durante a utilização. Assim sendo, optou-se por fazer com que estas forças sejam suportadas completamente pela barra vertical, ficando o atuador protegido deste tipo de situações.

Dado que todo o funcionamento mecânico e os fatores relacionados com a movimentação do sistema de atuação já foram referidos anteriormente, apenas será abordado neste passo a seleção do tipo de atuador, dado que será este o componente essencial deste sistema. É necessário, no entanto, analisar as circunstâncias do seu funcionamento de modo a fazer uma seleção correta do tipo de motor.

Este componente será o único que estará realmente em contacto com o mecanismo de atuação. No entanto, não bastará que o sistema de atuação seja composto apenas por este, sendo necessário fazer a seleção de todos os componentes relacionados com o seu controlo e funcionamento.

Como já foi mencionado anteriormente, pretende-se que o movimento efetuado pelo sistema de atuação possa ser tanto contínuo, como que apresente paragens que possam ser programadas pelo utilizador, para além de ser possível controlar a velocidade de fecho da tesoura. Sendo que a movimentação do motor é conseguida através do fornecimento de corrente elétrica ao mesmo, uma variação desta corrente elétrica fará com que o movimento resultante seja diferente, sendo o controlo do motor conseguido através deste método.

Para além disto, considera-se necessário que o motor permita a leitura da sua posição, através de um *encoder* ou algum componente semelhante, pois de outro modo, será impossível saber qual a sua posição e velocidade, não sendo o sistema capaz de efetuar o seu controlo. Em conjunto com isto, será necessário selecionar um módulo de controlo que seja capaz de desempenhar todas estas funções, tendo este ainda de permitir a integração no sistema de controlo, dado que este será responsável pela programação do movimento.

Sendo este processo de controlo do movimento efetuado através da variação da corrente elétrica, é também necessário que o fornecimento desta, tanto ao motor como ao módulo de controlo, seja efetuado sobre condições controladas, pelo que se torna necessário a utilização de um módulo de corrente, que garantirá as características ideais desta.

A utilização de todos estes componentes garantirá que o funcionamento deste sistema será o pretendido e que este será capaz de corresponder a todos os requisitos que foram apresentados anteriormente.

4.2.3 Seleção de Componentes

Uma vez concluída esta análise, torna-se então possível iniciar a seleção dos componentes que irão constituir este sistema, garantindo que estes são os adequados. Mais uma vez, irá voltar a efetuar-se uma pesquisa de produtos disponibilizados por apenas um fornecedor, sendo este a *SIEMENS*, garantindo assim uma maior facilidade da compatibilidade deste sistema com o de medição de carga. Refere-se ainda que, embora no sistema anterior aquando da seleção de componentes não se referiram números de série específicos, neste caso achou-se relevante fazê-lo dado que estes permitem entender de maneira aprofundada o funcionamento dos componentes e algumas das suas especificações técnicas.

Assim sendo, inicia-se então este processo através da seleção do motor a ser utilizado como fonte de energia de movimentação. Uma breve análise aos motores disponibilizados pela *SIEMENS*³¹ permite verificar que estes são disponibilizados em diversos modelos, sendo estes divididos mediante um fator principal, sendo este o tipo de corrente elétrica em que o seu funcionamento se baseia. Existem três categorias principais sendo estas: motores elétricos de corrente alternada e baixa voltagem, motores elétricos de corrente alternada e alta voltagem, e por último, motores elétricos de corrente contínua.

Existe ainda um quarto tipo de motores disponibilizado, os motores para aplicações de movimentação controlada ou servomotores, que não foram considerados para esta aplicação pois o seu foco específico de emprego são aplicações de movimentação. Isto faz com que, caso sejam sujeitos a aplicações de carga elevada, possa ocorrer o seu sobreaquecimento ou mau funcionamento, o que é ampliado por uma utilização contínua nas condições pretendidas.

Assim sendo, resta analisar os restantes tipos de motor e a possibilidade da sua utilização, sendo que estes são direcionados para aplicações em que um dos requisitos seja exercer um valor considerável de força, podendo isto ser em funcionamento contínuo ou não.

Uma breve análise aos dois últimos tipos, motores de corrente contínua e motores de corrente alternada de alta voltagem, permite verificar que estes são indicados para aplicações que requerem um valor de potência de funcionamento de ordem bastante grande, sendo excessiva quando comparada com os requisitos da operação em desenvolvimento, para além de atingirem tamanhos enormes, o que invalida a sua utilização neste projeto. Deste modo, ambos estes modelos são automaticamente

descartados, deixando apenas a possibilidade de utilização de motores de corrente alternada de baixa voltagem.

Estes motores ³², distinguindo-se como sendo os motores mais comuns disponibilizados pela *SIEMENS*, são de bastante fácil utilização e integração em equipamentos construídos de raiz, como é o caso em estudo. São também disponibilizados numa gama de potência de funcionamento que vai desde valores bastante baixos para pequenas aplicações, a valores de ordem considerável para aplicações que assim o requerem, sendo que algures nesse intervalo se irá inserir o valor referente à máquina em desenvolvimento.

Para além disso, estes motores suportam a conexão a um variador de frequência e a acoplação de um *encoder*, para além de um leque de opções extra bastante variado, o que permite efetuar o controlo de velocidade e posição do mecanismo, e desempenhar as restantes funções requeridas, permitindo ainda este módulo a integração num sistema de controlo a desenvolver posteriormente.

Uma análise aos vários modelos dos quais consiste este tipo de motores permite verificar que estes diferem no que toca à sua aplicação, podendo ser indicados para aplicações em ambientes com risco de explosão, aplicações com uma exigência de potência elevada, aplicações com necessidade de torque elevado, existindo ainda motores desenvolvidos especificamente para certas aplicações industriais.

De todos estes destacam-se os motores *SIMOTICS LV General Purpose* ³² que, como o nome indica, são apropriados para utilização em situações de uso geral industrial, sendo ainda disponibilizados em valores de potência de funcionamento que se adequam ao caso em estudo e bastante flexíveis no que toca à sua utilização.

Existem ainda 2 vertentes principais deste tipo de motores, sendo estas: motores para utilização em velocidade constante sem controlo e motores para utilização com controlador de velocidade, sendo estes últimos aqueles que se pretende utilizar.

Tendo sido definido qual a tipologia e modelo de motor a utilizar, pode então ser feita uma consulta do catálogo *SIEMENS D81.1* ³³ em que estes motores são disponibilizados. Isto permitirá descobrir as demais funcionalidades específicas que estes motores são capazes de desempenhar, e determinar a sua necessidade de aplicação no contexto da máquina em desenvolvimento.

Este processo permitirá chegar a um número de série correspondente a um motor específico, que posteriormente poderá ser utilizado para a sua aquisição, definindo cada dígito um pormenor ou funcionalidade do mesmo. Para o caso em desenvolvimento, o número de série obtido foi *1LE1092-*

1AB42-1AK4-Z G04, apresentando-se os seus detalhes de seguida, com o intuito de melhor se perceber o seu funcionamento.

Para fazer a correta seleção deste motor foi utilizada a ferramenta *Drive Technology Configurator*³⁴, que consiste numa ferramenta informática *online* disponibilizada pela *Siemens*, cujo intuito é facilitar a seleção de motores elétricos e demais componentes. A utilização deste permite tanto, partir do zero e selecionar o modelo e todas as características e funcionalidades inerentes ao mesmo, ou então partir de um modelo base, motores de baixa voltagem para utilização com controlador por exemplo, e a partir daí selecionar quais as funcionalidades a adicionar, sendo este último caso aquilo que ocorreu.

Uma vez concluído este processo e tendo sido obtido o número de série do motor, pode efetuar-se a análise do mesmo, como se apresenta de seguida, de modo a confirmar que o motor corresponde a todas as características que são requisitadas.

Começando pelo primeiro conjunto de dígitos “*1LE1*”, este refere-se ao tipo de motor em seleção, que são, neste caso, motores de corrente alternada de baixa voltagem para utilização com variador de frequência. Definem também o tipo de arrefecimento que o motor possui, dado que este é inerente à classe de motor selecionado, sendo neste caso através de uma ventoinha acoplada ao rotor do motor.

Segue-se com o dígito “*0*”, sendo este responsável por definir o tipo de material em que a carcaça do motor é fabricada, sendo as opções alumínio, ao qual o dígito “*0*” corresponde, ou ferro fundido. Este último é utilizado para aplicações em que o motor esteja sujeito a condições ambientais adversas, pelo que não se considerou necessário para este caso.

Os dois dígitos seguintes “*92*” dizem respeito também a duas particularidades no que toca a operação com controlador, sendo definidos automaticamente, correspondendo ao tipo de controlador utilizado e à classe de eficiência do motor.

Posto isto, o segundo segmento de dígitos corresponde às dimensões físicas e de construção do motor, variando estas mediante a potência do motor selecionado, começando assim por definir-se esta. Consultando os valores disponibilizados, também presentes no catálogo, foi escolhido o valor de 2.2 kW, sendo este apenas de referência para a seleção do motor.

Deste modo, os primeiros dois dígitos surgirão como sendo “*1A*”, que refletem o tamanho da carcaça do motor, sendo este 100L. Este valor é significativo de uma classificação normalizada universal da *International Electrical Commission*, que regula os motores elétricos europeus, e pela qual os motores são organizados em classes.

Os dois dígitos seguintes “*B4*” seguem a mesma relação com a potência nominal do motor, dizendo respeito ao número de polos do motor, sendo neste caso 4, e o tamanho do núcleo laminado

interior, que corresponde ao tamanho dos componentes interiores do motor. Por último vem o dígito “2”, que em conjunto com o dígito seguinte “1” determina a voltagem e frequência base da corrente elétrica de funcionamento do motor. Neste caso, existem 3 opções de funcionamento, requerendo todas a utilização de corrente trifásica, podendo funcionar com voltagem de 380 V e frequência de 50 Hz, voltagem de 440 V e frequência de 60 Hz, ou por último, voltagem de 380 V e frequência de 87 Hz. Aquando da instalação do motor, será necessário levar este fator em conta, para garantir o seu bom funcionamento.

De seguida, vem o dígito “A”, referente ao tipo de construção do motor, que irá refletir-se principalmente no método e posição de fixação deste e na presença ou não de flange no seu veio rotativo. Para este caso, a letra “A” refere um motor sem flange, e a ser fixado na sua parte inferior, pousado numa superfície, que é o pretendido pois este estará suportado numa plataforma, e que a transmissão de movimento será feita através de uma corrente ou correia cuja polia será aplicada diretamente no veio do motor.

O dígito seguinte “K” irá corresponder ao tipo de proteção do motor, em específico no que toca a deteção de sobreaquecimento deste ou de sobrecarga, sendo que a letra B corresponde à proteção mais básica, pois considerou-se que o motor não estaria sujeito a situações extremas que necessitassem este tipo de proteção especial.

O dígito “4” que se apresenta de seguida reflete a posição em que se encontra montado o terminal de ligação do motor aos restantes componentes elétricos. Neste caso, considerou-se que a posição mais vantajosa seria ter o terminal no topo do motor, o que permite a maior facilidade de acesso ao mesmo.

Assim sendo, o número de série do motor está completo, tendo sido assim definidas todas as características bases do mesmo, no entanto, pode ver-se que existe ainda um último conjunto de dígitos “Z GO4”. Neste caso, o dígito “Z” é utilizado para adicionar ao motor base componentes ou características específicas que sejam necessárias, existindo uma extensa lista das mesmas. Como foi referido anteriormente, é necessário que a posição e velocidade do motor sejam conhecidas ao longo do seu trajeto, de modo a tornar possível o seu controlo. Para isto, é necessário adicionar ao motor um *encoder*, o que é conseguido através da adição dos dígitos “GO4” ao número de série, que inclui automaticamente na montagem do motor um *encoder* incremental rotativo da marca *Leine und Linde* e de modelo *LL 861 900 220*.

Dá-se assim por completa a seleção do motor a utilizar, tendo sido definidas todas as características do mesmo. Posto isto, pode seguir-se com a seleção dos demais componentes que compõem este sistema.

Como foi referido anteriormente, em conjunto com o motor, e de forma a efetuar o controlo da sua velocidade, terá de ser utilizado um controlador de frequência, com o qual este seja compatível. Uma breve análise da página do produto correspondente ao motor selecionado ³⁵, permite concluir que o controlador indicado para esta utilização será da família *SINAMICS G120*.

Deste modo, o passo lógico seguinte será fazer uma análise deste tipo de sistemas como intuito de preparar a seleção específica deste controlador. Consultando a página desta família de produtos, pode concluir-se que este sistema será composto por dois componentes principais, sendo estes a unidade de controlo, que como o nome indica é responsável por efetuar o controlo da movimentação do motor, lendo o sinal gerado pelo *encoder*, e enviando o sinal necessário para que este pare, aumente ou diminua a velocidade, e todas as outras operações que sejam necessárias, e o módulo de alimentação de corrente, responsável por receber a corrente elétrica da fonte, e alimentar tanto o motor como a unidade de controlo, fornecendo corrente com as características corretas.

Começando pelo módulo de alimentação de corrente, existem três modelos diferentes, variando estes principalmente no tipo de corrente que são capazes de receber e de enviar para o motor e unidade de controlo, e na potência nominal da mesma. Sendo referido na página do motor que o modelo ideal para esta utilização será o *PM240-2*, elimina-se automaticamente a possibilidade de utilização dos restantes, ficando a escolha deste feita.

Quanto às unidades de controlo, existem também 3 modelos diferentes, diferindo estes principalmente nas tarefas que são capazes de desempenhar. Como foi referido anteriormente, irá ser incluído no funcionamento do motor um *encoder* de posição, o que limita a seleção da unidade de controlo ao modelo mais avançado *CU250-2*, dado que é este o indicado para a utilização em conjunto com *encoders*.

Tendo sido selecionados os respetivos modelos para cada um destes componentes, resta apenas fazer a sua escolha específica, obtendo um número de série e definir as suas especificações técnicas.

Voltando à ferramenta de seleção dos motores elétricos que foi referida anteriormente, esta possui também uma modalidade que permite a seleção, em conjunto, do motor e do respetivo sistema de controlo *SINAMICS G120*, garantindo que estes são compatíveis e que se complementam e interligam de maneira correta.

Assim sendo obtiveram-se os números de série *6SL3246-0BA22-1FA0* ³⁶ para a unidade de controlo, e *6SL3210-1PE18-0AL1* para o módulo de alimentação de corrente. Com esta informação, pode então consultar-se o catálogo onde estão disponibilizados estes produtos e verificar-se as suas características e o que irá definir o seu funcionamento. Será também ainda neste momento que se irá

verificar a necessidade de aquisição de componentes extra, ou conectores específicos essenciais ao funcionamento deste conjunto de componentes.

Começando pela unidade de controlo do motor, esta, como já foi referido, é o modelo mais avançado da família *G120*, apresenta todas as funcionalidades que foram enunciadas anteriormente, podendo ser utilizada em motores de potências entre os 0.37 e 250 kW, o que acomoda confortavelmente o motor selecionado. A principal diferença deste componente para os restantes reside no facto da interface de comunicação deste ser baseada no protocolo de comunicação *PROFINET*. Este foi selecionado dado que é um dos protocolos mais simples existentes na indústria e, como se irá abordar posteriormente, é de simples englobamento nos sistemas de controlo da *SIEMENS*.

Segue-se com a análise do módulo de alimentação de corrente e das suas características técnicas. Este, é dotado de uma potência nominal de 3 kW, suficiente para fazer trabalhar o motor elétrico e sustentar eventuais picos de potência ou situações extraordinárias que possam ocorrer durante o seu funcionamento. Possui também um filtro de corrente que garante que flutuações ou interferências na corrente fornecida ao módulo não são transmitidas ao motor, efetuando deste modo a proteção do mesmo.

Tendo sido selecionados os componentes principais que irão formar este sistema, fazendo uma análise ao catálogo em que são disponibilizados poderá definir-se quais os acessórios necessários para que estes funcionem corretamente e desempenhem a função que lhes será requerida.

Deste modo, uma das observações que se faz está relacionada com a paragem do motor após o término do teste de uma tesoura. Será expectável que, como foi referido anteriormente, terminando a máquina de efetuar o número de cortes que foi programado, o mecanismo pare imediatamente e não sejam efetuados mais cortes nem que a tesoura continue em movimento de forma a evitar falhas da mesma ou mesmo da máquina, ou outras situações indesejadas.

No entanto, dada a grande massa apresentada pelo motor, em conjunto com a apresentada pelo mecanismo de atuação, irá existir um valor de inércia considerável no sistema, que terá um efeito negativo neste processo. Para além disso, aquando da paragem do motor irá ocorrer um fenómeno que irá aumentar ainda mais esse efeito negativo, que precisa de ser eliminado.

Este fenómeno ocorre quando se cessa o fornecimento de corrente ao motor, e este continua em movimento dado o efeito da inércia. Neste caso, o motor inverte o seu funcionamento, e passa a funcionar à semelhança do alternador de um carro, gerando uma pequena corrente elétrica que volta a fluir para o sistema e ativa o motor, evitando que este abraque rapidamente. Para contornar este efeito, pode utilizar-se um resistor de travagem, que recebe esta energia elétrica gerada pelo motor em

abrandamento, e a converte em energia térmica, sendo esta dissipada sobre a forma de calor, garantindo o abrandamento seguro e rápido do motor.

Fica assim completo o sistema de atuação, sendo estes componentes suficientes para a que a atuação da máquina seja desempenhada da maneira que é requerida e garantindo todas as funcionalidades necessárias. O único componente restante que será importante para o funcionamento deste sistema será um cabo específico que será utilizado para efetuar a conexão do módulo de controlo ao computador, à semelhança do que foi selecionado para o sistema de medição de carga, com a finalidade de fazer a configuração e diagnóstico do funcionamento do mesmo.

Sendo também este sistema integrável nos sistemas de controlo disponibilizados pela *SIEMENS*, garante-se a compatibilidade e a coordenação com o sistema de medição de carga. Para além disso, embora seja este sistema e todos os seus componentes que irão efetuar todas as operações de movimentação, será no sistema de controlo que estas serão programadas e devidamente integradas no contexto do funcionamento da máquina.

Todos estes componentes podem ser analisados com maior detalhe na lista de componentes apresentada no Anexo I.

4.3 Sistema de Alimentação

Direcionando agora o foco do desenvolvimento para o sistema de atuação, pode passar-se diretamente para a idealização deste, dado que todos os conceitos teóricos inerentes já são conhecidos. Este sistema, tendo o seu funcionamento já sido exposto anteriormente, terá como base um conjunto de atuadores que, em junção com dois sensores de posição, e sendo devidamente controlados e coordenados, possibilitarão o desempenho de todas as funções.

4.3.1 Idealização do Sistema

Começa-se assim o processo de desenvolvimento deste sistema pela idealização do mesmo. Como foi referido irão existir três componentes rotativos que necessitarão de ser girados, sendo estes o regulador de passagem de varões de corte, o tapete rolante responsável pela sua movimentação, e a came rotativa responsável pelo fornecimento destes à tesoura.

Dado que o movimento destes componentes terá de ser bastante preciso e ajustável, a um nível maior do que aquele apresentado pelo sistema de atuação, determinou-se que teriam de ser usados,

não motores elétricos correntes, como no sistema de atuação, mas servomotores, que permitem um maior controle e exatidão.

Como foi explicitado no desenvolvimento do sistema anterior, o controle dos motores é efetuado através da variação da frequência da corrente elétrica que os atravessa e faz mover, sendo isto conseguido através da utilização de um módulo de controle desenvolvido para este efeito. Tendo em conta o tipo de movimentação e requisitos do funcionamento destes motores, terão de ser selecionados três controladores para desempenhar esta função.

Fica assim a movimentação necessária a este sistema definida, faltando apenas tratar da questão referente aos sensores de controle de passagem dos varões de corte. Sendo a passagem dos varões um acontecimento pontual, o funcionamento destes sensores terá de refletir isto. Ou seja, estes terão de encontrar-se numa determinada posição desativada a todos os momentos, sendo atuados no momento de passagem do varão. A maneira mais fácil de isto se conseguir será com a utilização de sensores de atuação mecânica, em que esta é efetuada através da movimentação de uma das suas partes, que ocorrerá a como consequência da movimentação dos varões de corte.

4.3.2 Seleção de Componentes

Assim sendo, tendo sido definido todo o funcionamento deste sistema, pode passar-se à seleção dos componentes que o irão constituir. Sendo o seu foco de funcionamento a movimentação dos diversos componentes, faz sentido começar esta seleção pelos servomotores responsáveis por este movimento.

Para isto, voltam a analisar-se os motores disponibilizados pela *SIEMENS*, podendo excluir-se diretamente todos os motores à exceção dos motores elétricos para aplicações de movimentação controlada, pois são os únicos que correspondem a todas as estipulações anteriores. Os restantes, ou apresentam demasiada potência nominal ou tamanho demasiado elevado para a aplicação em questão. Para além disso, nenhum destes modelos de motor apresenta a mesma capacidade de controle que os motores selecionados, com o tamanho reduzido dos mesmos. ³⁵

Assim sendo, segue-se o processo com a análise dos diversos modelos de motores para aplicações de movimentação controlada. Estes, como o nome indica, são direcionados para aplicações em que o movimento efetuado necessita de um elevado nível de controle e precisão, sendo capazes de efetuar deslocamentos coordenados entre um conjunto de motores num certo sistema.

Apresentando então os diversos modelos dos quais este tipo de motores consiste, começam por destacar-se os motores para eixos rotativos de máquinas ferramenta e motores lineares. Como o próprio nome indica, será impossível a aplicação destes no conceito da máquina em desenvolvimento, tanto porque se requer um movimento rotativo, o que invalida os motores lineares, e dado que a incorporação dos motores para eixos de máquinas ferramenta não faz sentido neste conceito.³⁷

Restam três tipos de motores, sendo estes os motores de torque, motores “principais”, e servomotores. De todos estes, só fará sentido a aplicação dos últimos, dado que são exatamente aquilo que se pretende para esta aplicação. Quanto aos restantes modelos, a sua aplicação não será justificada dado que, no caso dos motores de torque, a sua utilização será direcionada para aplicações cujo requisito principal seja um elevado valor de torque, e no caso dos motores “principais”, estes são utilizados em situações em que é necessário um movimento rotativo, principalmente em máquinas ferramenta ou máquinas de produção e processos industriais, tais como impressoras ou prensas, que necessitem de um elevado valor de força nominal na sua atuação.

Podem ainda, em alguns destes modelos, não apresentar carcaça e consistirem apenas dos seus componentes internos, sendo neste caso a transmissão de movimento efetuada diretamente através da montagem destes na estrutura e não através de um veio ou de forma semelhante.

Assim sendo, opta-se pelos servomotores *SIMOTICS*, sendo necessário efetuar uma análise detalhada dos mesmos antes de fazer a seleção de um modelo específico. Estes podem dividir-se em duas tipologias principais, sendo estas servomotores regulares, e servomotores com engrenagem redutora de velocidade.

Começando pelo último tipo de modelo, este foi eliminado à partida dado que os servomotores com engrenagem redutora de velocidade são, para além de bastante grandes, dada a dimensão elevada das engrenagens, modelos de elevada potência e torque nominais que não se justificam.

Quanto aos restantes modelos, a complexidade das suas funcionalidades, funcionamento e eficiência de movimentação são praticamente semelhantes. A diferença entre estes verifica-se maioritariamente no que toca ao tipo de aplicação para que são otimizados, ou seja, diferentes modelos irão apresentar diferentes intervalos de potência e torque nominal, dentro dos quais o seu funcionamento será o ideal.

Deste modo, o critério utilizado para a seleção do modelo ideal para esta aplicação foi, para além da potência de funcionamento, as dimensões gerais do motor, dado que estas terão uma grande influência no processo de integração do motor na máquina, e a simplicidade deste processo de

integração. Para além disso, a simplicidade da conectividade e configuração destes motores revelou-se um fator bastante importante.

Feita esta análise aos requisitos do motor a escolher, optou-se por seleccionar o modelo *SIMOTICS S-1FK2*³⁸. Este, sendo um dos modelos mais simples disponibilizados pela *SIEMENS*, possui todas as funcionalidades dos modelos maiores, apresentando também um tamanho bastante reduzido o que facilita a sua integração no contexto da máquina. Além do mais, é disponibilizado no intervalo de potências de 0.05 a 7 kW, o que garante a possibilidade de corresponder a todas as situações que forem necessárias.

Este motor, para além dos benefícios que foram enunciados anteriormente, faz parte de um sistema constituído por este e pelo controlador de movimento *SINAMICS S210*, desenvolvidos para trabalharem especificamente em conjunto e garantir a maior eficiência e versatilidade de funcionamento. Sendo este dos controladores mais avançados que são disponibilizados, possui funcionalidades de segurança integradas, para além de ser um dos modelos de controlador mais fáceis de configurar e utilizar. O último detalhe que merece ser referido relaciona-se com a conectividade destes componentes, sendo os protocolos disponíveis para este efeito os mais simples e compatíveis com o maior número de sistemas, e indo em conta com os disponíveis para o sistema de atuação.

Resta, como foi feito anteriormente, determinar qual o seu número de série e, deste modo, as suas especificações técnicas e componentes extra. Para este efeito, voltou a recorrer-se à ferramenta *Drive Technology Configurator*³⁴ da *SIEMENS*, de forma a facilitar esta seleção, sendo posteriormente os números de série verificados para garantir que tudo está em conformidade.

No entanto, antes de se iniciar este processo, é necessário relembrar o funcionamento a que os diferentes motores estarão sujeitos. Ou seja, começando por analisar o veio regulador de passagem de varões e o funcionamento deste, pode observar-se que, para além deste ser intermitente, o que é respondido pelo funcionamento geral do motor, necessita também de efetuar a paragem durante os momentos em que os veios têm de ser retidos.

Para isto, não basta cessar o fornecimento de corrente ao motor, o que irá fazer com que este não seja atuado, mas que possa ser movimentado através da ação dos varões e da respetiva massa. Surge então a necessidade de que o motor selecionado para este caso tenha a capacidade de efetuar esta travagem e que bloqueie toda e qualquer movimentação deste veio.

No que toca ao eixo responsável pela movimentação da came rotativa, pode observar-se a mesma necessidade de paragem e bloqueio do movimento, nos momentos em que a tesoura se encontra a efetuar o movimento de corte e o varão não pode deslocar-se. No entanto, quanto ao último dos veios, o

responsável pela movimentação do tapete rolante, este não irá necessitar deste tipo de paragem dado que o seu movimento será contínuo. Posto isto, estão reunidas todas as condições para que se possa efetuar a seleção específica do motor tendo a certeza de que todos os requisitos são cumpridos.

Findada esta análise, pode então seguir-se com este processo de desenvolvimento, tendo sido obtidos os números de série “*1FK2203-2AG10-1MA0*” para o caso dos motores com travão, e “*1FK2203-2AG00-1MA0*” para os motores sem. Como se pode verificar, estes números de série são exatamente iguais, salvo um dígito, o que significa que os motores utilizados nos diferentes pontos da máquina são exatamente o mesmo modelo, sendo diferenciados apenas na existência ou não de travão de bloqueio.

A análise destes números de série será bastante básica, dado que, tendo sido definida a potência nominal de funcionamento, maior parte dos dígitos ficam definidos automaticamente, pois estão relacionados com o tamanho e dimensões do motor.

Assim sendo, pode começar por consultar-se o catálogo ³⁹ e analisar-se em conjunto desde já os dígitos “*1FK2203-2AG*”, que refletem este valor de potência. Quanto aos primeiros 5, estes são referentes ao modelo de motor selecionado, não consistindo de nenhuma propriedade técnica. Os 2 dígitos seguintes “*03*”, referem-se ao tamanho em altura do motor e do respetivo eixo rotativo, seguindo-se com “*2A*”, que refletem o comprimento do motor e respetivo eixo, propriedades que apenas dependerão da potência selecionada.

Quanto ao último dígito deste conjunto “*G*”, este refere-se à velocidade e voltagem nominal do motor, sendo este fator, mais uma vez, definido automaticamente mediante a potência e as dimensões definidas anteriormente, sendo para este caso, 3000 rpm's a uma voltagem de 230 V.

Considerando agora os quatro dígitos seguintes, estes irão corresponder às propriedades que realmente podem ser selecionadas e que farão diferença no funcionamento do motor. Começando então por analisar o primeiro, este refere-se à existência ou não de travão de bloqueio na montagem do motor, e como já foi referido é o único dígito que varia entre os dois números de série obtidos. Neste caso, o dígito “*0*” corresponde a um motor sem travão, enquanto que o dígito “*1*” diz respeito a um motor com travão de bloqueio.

O dígito seguinte diz respeito ao grau de proteção quanto a contaminações provenientes do exterior, tais como poeiras ou líquidos e humidade. Neste caso pode selecionar-se entre os graus IP64 e IP65, sendo ambos completamente resistentes a poeiras e outras contaminações de tamanho semelhante, o primeiro resistente a jatos de água leves, e o segundo a jatos de água fortes. Não sendo

este um fator impactante para o funcionamento da máquina, nem relevante para o caso em questão, optou-se por selecionar a tipologia mais básica IP64, representada pelo dígito “0”.

O terceiro dígito deste conjunto relaciona-se com a configuração do veio transmissor de movimento do motor, podendo ser selecionadas três modalidades. A primeira consiste de um veio liso de diâmetro regular, a segunda de um veio com chaveta e diâmetro normal, e a terceira de um veio liso com diâmetro reduzido. Sendo o objetivo deste motor a transmissão de movimento aos veios que compõem a máquina, a tipologia mais benéfica será a que apresenta chaveta, pelo que foi esta a selecionada, sendo representada pelo dígito “1”.

Por último, apresenta-se um dígito referente ao *encoder* selecionado para efetuar o controlo do movimento deste motor. Neste caso existe a opção de escolher entre um *encoder* absoluto de volta única ou multi-voltas. A diferença entre estes apresenta-se na metodologia de determinação da posição do motor, sendo que o *encoder* de volta simples apenas deteta a posição do motor ao longo de uma volta do mesmo, enquanto que o *encoder* multi-voltas é capaz de, para além disto, determinar o número de voltas que o motor efetuou. Sendo que o controlo do movimento a efetuar por estes motores é bastante relevante, como por exemplo para saber o número de corte que foram efetuados ao longo de um teste, optou-se por selecionar o *encoder* multi-voltas, que providenciará um maior controlo e resolução do movimento efetuado.

Quanto aos últimos dois dígitos, estes são fixos, não fornecendo alternativas de seleção, sendo referentes apenas ao tipo de conexão a efetuar entre estes e o módulo de controlo. Esta conexão será feita através do protocolo *One Cable Connection* da *SIEMENS*, que facilita esta conexão através do uso de um cabo do tipo *MOTION-CONNECT* que transmite tanto o sinal de deslocamento como a corrente elétrica necessária e todos os restantes sinais existentes.

Dando por terminada a seleção do motor elétrico, é necessário determinar qual o controlador de movimento correto a utilizar. Neste caso, os motores e controladores são desenvolvidos para funcionarem em conjunto, tendo cada modelo de motor um controlador específico associado ao seu funcionamento. Para determinar isto, basta consultar o catálogo referente a estes componentes, e definir qual o número de série do controlador, sendo este 6SL3210-5HB10-2UF0.

Este trabalha tendo por base corrente alternada monofásica de 230 V, servindo esta para alimentar o controlador, sendo que este produz corrente trifásica com as características corretas para alimentar o motor, estando preparado para produzir uma potência nominal de 0.2 kW, como foi determinado no momento da escolha do motor. Para além disso apresenta o protocolo de comunicação *PROFINET*, à semelhança do que foi descrito no sistema anterior, para conexão a um sistema de controlo.

Quanto ao controlo em específico dos motores, este controlador apenas consegue fazer o processamento de um movimento de cada vez, o que significa que, como se irá tratar de 3 movimentos de características diferentes, irá ser necessário utilizar três controladores em separado, um responsável por cada um dos motores. Seria possível conectar os três motores a apenas um dos controladores, no entanto, neste caso, estes efetuariam o mesmo deslocamento, o que faz com que seja impossível a aplicação disto no contexto da máquina em desenvolvimento.

Outro tema que foi abordado no sistema anterior, foi a utilização de um resistor de travagem para a imobilização em segurança do mecanismo de atuação. No que toca ao sistema de alimentação, esta imobilização do mecanismo será também bastante importante, principalmente na movimentação da came rotativa e do veio regulador da passagem de varões. No entanto, no conjunto motor e controlador selecionado para este sistema, não será necessária a aplicação de um resistor de travagem dado que, em primeiro lugar, o tamanho reduzido dos motores não irá apresentar um valor de inércia considerável que justifique a utilização de um resistor de travagem, e em segundo lugar, o controlador *SINAMICS S210* já possui um resistor de travagem interno que, embora pequeno, seja suficiente para a imobilização destes motores caso esta seja necessária.

Uma diferença neste sistema quando comparado com o selecionado no sistema anterior, é a forma de fornecimento de corrente ao motor. Enquanto que no caso anterior é fornecida corrente trifásica à fonte e alimentação de corrente do conversor de frequência, e esta utiliza a corrente trifásica para tratar da alimentação da unidade de controlo e do motor, no caso do sistema *SINAMICS S210* o funcionamento é um pouco diferente. Neste caso, a alimentação elétrica do controlador em si é feita diretamente a partir da rede elétrica através de corrente monofásica de 230 volts, no entanto, o motor necessitará de uma corrente elétrica específica de 24 volts, tendo esta de ser fornecida ao controlador através de uma fonte de alimentação de corrente específica para este feito, sendo esta transmitida posteriormente ao motor pelo conversor.

Para este efeito, foi selecionada então uma fonte de corrente básica compatível com o sistema *S210*, sendo esta a fonte SITOP PSU100L 24V/5. Esta é dos modelos de fontes de alimentação mais básicos disponibilizados pela *SIEMENS*, tendo sido selecionada dado que apenas se pretende que desempenhe a função básica de fornecimento de corrente sem ser necessário que apresente mais nenhum tipo de funcionalidades.

Quanto à conexão desta ao controlador de movimento, este será um tema a ser abordado em detalhe num capítulo posterior, no entanto revela-se desde já que, sendo possível que vários módulos *S210* partilhem da corrente gerada apenas por uma fonte de alimentação, definiu-se que apenas seria

utilizada uma fonte. Esta, sendo capaz de fornecer 5 amperes de corrente, considerou-se suficiente para o desempenho desta função, para além de apresentar um design simples e compacto que simplifica a sua integração no meio da máquina, não sendo necessário que se tenham cuidados especiais com o seu sobreaquecimento ou qualquer outro tipo de falhas semelhantes.

Por último, no que toca ao conjunto de motores e controladores referentes ao sistema de atuação, fazendo uma análise final a este catálogo com o intuito de determinar os produtos extraordinários necessários ao funcionamento deste sistema, sendo que neste caso apenas resta selecionar os cabos de ligação do controlador ao motor.

Como foi referido anteriormente aquando da análise do número de série do motor selecionado, a conexão entre estes dois componente é efetuada através de um protocolo do tipo *One Cable Connection*, que utiliza um cabo específico disponibilizado pela *SIEMENS* para efetuar esta ligação, que permite efetuar a conexão rápida deste tanto ao motor como ao controlador.

Este tipo cabo, denominado *MOTION-CONNECT*, divide-se em dois modelos específicos, sendo estes o modelo *500*, ideal para aplicações regulares em que o cabo não se encontra sujeito a desgaste nem a nenhum tipo de movimentações, e o modelo *800PLUS*, que providencia o mesmo tipo de funções que o anterior, mas pode ser utilizado em aplicações em que o cabo seja movimentado e torcido, tais como plataformas deslizantes ou outros mecanismos semelhantes. Dados os requisitos da máquina em desenvolvimento, acharam-se suficientes as funcionalidades apresentadas pelo modelo *MOTION-CONNECT 500*, pelo que foi este o selecionado sendo necessárias 3 unidades do mesmo. Por último, refere-se a necessidade de um *software* específico para efetuar a configuração dos motores elétricos e dos seus controladores tanto deste sistema como do anterior, sendo este *software* o *SINAMICS Startdrive*.

Fica, deste modo, a questão da movimentação no sistema de alimentação resolvida, restando apenas determinar como será tratado o pormenor dos sensores de deteção de passagem dos varões de corte. Deste modo, mais uma vez voltaram a consultar-se os produtos disponibilizados pela *SIEMENS* para este efeito, tendo em conta os requisitos que foram mencionados anteriormente para o seu funcionamento.

Para isto, foram selecionados os produtos da gama *SIRIUS*⁴⁰, que são definidos pela *SIEMENS* como controlos industriais, indo desde módulos de proteção que tem como função analisar o funcionamento de um sistema e garantir que a corrente elétrica fornecida ao mesmo é a ideal e quebrar o seu funcionamento caso não seja, a interruptores e sinalizações de comando para máquinas

industriais, que permitem um rápido diagnóstico e ação sobre o funcionamento de uma máquina, entre outros componentes com diferentes funcionalidades de controlo e segurança.

Será dentro desta última tipologia que os sensores selecionados se irão inserir, os interruptores de posição e segurança SIRIUS.⁴¹ Estes, como o nome indica, podem ser divididos em 2 categorias diferentes, sendo estas os interruptores de segurança, que podem ser de atuação mecânica ou de atuação sem contacto, cuja funcionalidade é detetar uma certa movimentação por parte da máquina e, agir mediante aquilo que for a resposta pretendida à mesma. Por exemplo, caso seja necessário detetar o fecho de uma porta, uma vez que este ocorra e efetue a movimentação do interruptor, este permitirá a passagem de corrente e o funcionamento da máquina, de outro modo, se a porta não for fechada e, em consequência, o interruptor não for atuado, não irá ser fornecida corrente à máquina o que não permitirá o início da sua função. Para além disto, existe a possibilidade de que, uma vez que a máquina inicie a sua ação, o interruptor tranque a porta e não deixe que esta se abra até que a máquina termine a sua ação.

Quanto aos interruptores de posição, que foram os selecionados para utilização neste caso, o seu funcionamento é semelhante ao anterior. Podendo ser conectados de maneira a agir como, ou contactos normalmente abertos ou contactos normalmente fechados, uma vez atuados, estes irão enviar, ou deixar de enviar um sinal para um módulo de controlo que, mediante esta ação, irão agir sobre o funcionamento da máquina.

Neste caso, pretende utilizar-se estes interruptores sobre a forma de contactos normalmente abertos, não deixando passar sinal, exceto no momento em que os varões atravessem a localização dos interruptores, efetuando a sua atuação e fazendo com que um breve sinal seja emitido para o sistema de controlo. Uma vez que este receba o sinal, irá agir mediante o mesmo e a sua programação interna para fazer deslocar os motores e mecanismos do sistema de atuação.

No que toca ao design e mecanismos de atuação destes interruptores, estes são bastante variados e podem verificar-se na Figura 41. Como pode ser observado, são compostos por um invólucro imóvel, podendo este ser de tamanho grande ou pequeno, ao qual é acoplado um atuador, sendo este movimentado e responsável pela atuação do interruptor. Estes atuadores são permutáveis, o que permite selecionar o que for correto para o tipo de atuação que for necessário, podendo observar-se alguns modelos diferentes na Figura 41.



Figura 41 - Exemplo de interruptores SIRIUS e os seus atuadores.

No que toca à aplicação em específico destes sensores à máquina em estudo, é necessário analisar o funcionamento no qual estes se irão inserir, de forma a selecionar o atuador correto para o seu funcionamento.

Assim, começando pelo sensor que pode ser observado na Figura 42, como se verifica, a atuação deste será feita através da ação dos varões de corte aquando da passagem destes no mecanismo de regulação de passagem. Deste modo, sendo os varões forçados a passar naquela ranhura, estes farão com que o movimento efetuado pelo sensor seja do tipo vertical, selecionando-se o atuador apresentado na Figura 42, cuja ação é direcionada para este tipo.

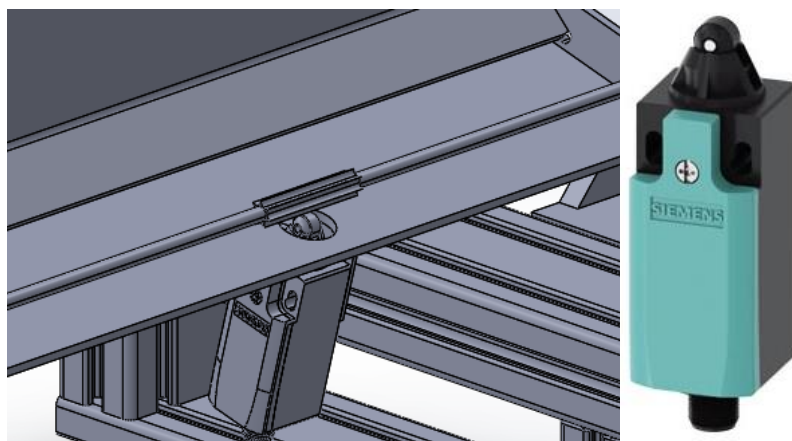


Figura 42 - Sensor número 1 e sua localização no contexto da máquina. ⁴²

Quanto ao segundo sensor, este encontra-se localizado onde a Figura 43 demonstra, e neste caso, a sua atuação será efetuada também pela passagem dos varões de corte, no entanto, neste caso esta

atuação será resultado da movimentação axial dos varões, contrariamente ao caso anterior, o que faz com que a atuação do sensor seja um processo um pouco mais delicado. Assim sendo, torna-se necessário selecionar um atuador que seja mais favorável para este tipo de ação. Na Figura 43 pode observar-se o atuador que foi selecionado, em que, como pode ser conferido, a atuação é efetuada através de um pequeno movimento rotativo, que é conseguido através da interação com os varões de corte.

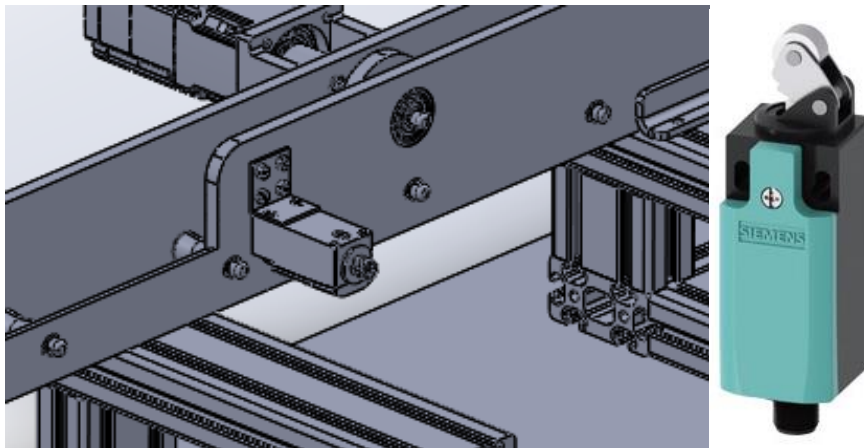


Figura 43 - Sensor número 2 e sua localização no contexto da máquina. ⁴²

Quanto ao funcionamento destes, no caso do primeiro sensor, este irá encontrar-se desativado até ao momento em que o varão o ativar, trabalhando efetivamente como um contacto normalmente aberto, enquanto que no caso do segundo sensor, este irá encontrar-se atuado a todos os instantes, exceto quando o varão terminar, momento em que este deixa de estar ativado e é necessário voltar a inserir um varão no sistema.

Findada a seleção dos sensores e a análise ao seu funcionamento, resta apenas estudar a conexão dos mesmos ao restante sistema, sendo esta bastante fácil de determinar. Para isto, será utilizado um cabo com um conector específico para ligar ao sensor, tendo de ser garantido que este seja capaz de ser conectado ao sistema de controlo, de modo a ser integrável com os sistemas restantes. Assim sendo, foi feita esta pesquisa selecionando o cabo com número de série 3SX5601-3SV15. ⁴³

Terminando assim a seleção de componentes, todos estes podem ser analisados com maior detalhe na lista de componentes apresentada no Anexo I.

4.4 Sistema de Controlo

Tendo sido analisados e determinados todos os sistemas de movimentação e ação que serão inseridos na máquina, resta apenas repetir este processo considerando o que toca ao sistema de controlo da máquina.

São imensos os sistemas e métodos de controlo existentes a nível industrial que podem ser utilizados para efetuar o controlo de processos efetuados por uma máquina como é o caso, podendo variar em tamanho desde pequenos módulos de montagem fácil, a sistemas de controlo distribuídos, que se podem espalhar por conjuntos de edifícios e constituídos por centenas de componentes diferentes. Variam também na quantidade e complexidade das funções desempenhadas, podendo ir desde um simples controlador de válvulas, que recebe um sinal de dados de uma certa fonte e atua a válvula mediante este, a sistemas responsáveis por controlar empresas inteiras, estando presentes em todos processos desempenhados por estas e efetuando o controlo de todas as suas ações.

Na base de funcionamento de um sistema de controlo irá encontrar-se sempre uma unidade de processamento que, recebendo dados de diversos sensores medidores das variáveis de funcionamento da máquina ou sistema, efetuam a sua comparação com um conjunto de valores alvo predefinidos e desejáveis, sejam estes uma certa posição, peso medido, etc., e emitem comandos de forma a aproximar estes valores dos valores alvo que são desejados.

Em termos práticos, por exemplo, um controlador recebe um determinado sinal de um sensor de posição, efetua a sua comparação com um valor de posição alvo predefinido, e emite um comando para o motor responsável pelo deslocamento para que este se aproxime daquilo que é expectável.

No que toca à máquina em desenvolvimento, este sistema de controlo irá exercer exatamente esta ação, sendo programado pelo utilizador de maneira a que todo o processo de teste e funções de segurança se verifiquem, desempenhando posteriormente todo este funcionamento autonomamente fazendo as correções necessárias.

Acontece que, aquando da seleção de todos os componentes constituintes dos sistemas anteriores, estes foram selecionados tendo em mente a posterior utilização em conjunto com um sistema de controlo. Sendo todos os componentes selecionados do fornecedor *SIEMENS*, é lógico que estes sejam otimizados para trabalhar com um certo modelo de sistemas de controlo desta marca.

Sendo este o caso, e analisando tanto os componentes selecionados como os sistemas de controlo disponibilizados pela *SIEMENS*, pode concluir-se que terá de ser utilizado um sistema de controlo baseado num controlador lógico programável, abreviado de PLC. Deste modo, apenas faz sentido que seja analisado o funcionamento dos controladores deste tipo, dado que será esta a única opção a utilizar para o sistema em desenvolvimento.

4.4.1 Controladores Lógicos Programáveis

De uma maneira geral, um controlador lógico programável, ou PLC, consiste num computador industrial que foi otimizado especificamente para trabalhar e ser fiável ao seu funcionamento mesmo nas condições mais adversas.

Como foi referido anteriormente, o seu funcionamento será baseado na leitura de um conjunto de dados emitidos por um conjunto de sensores ou *inputs*, processamento dos mesmos através da sua comparação com dados pré-programados e emissão posterior de um conjunto de ações tendo em conta o resultado desta comparação. Deste modo, estes controladores tornam possível automatizar desde o funcionamento de uma máquina a uma linha de produção completa.⁴⁴

Esta versatilidade irá verificar-se não apenas no seu tamanho e capacidade de processamento, mas também nas suas funcionalidades, variando estas mediante os requisitos apresentados pelo ambiente em que o sistema se inserir, podendo ir desde proteção quanto a interferências elétricas a resistência a vibrações e impacto, ou mesmo funções de programação, por exemplo, funções de controlo de movimento.

Tipicamente, um PLC é composto por um certo número de elementos que são comuns a todos os sistemas deste tipo. Começando pelo componente central do seu funcionamento, o processador ou CPU, este será aquele que irá ler e interpretar os sinais recebidos dos sensores, efetuar a sua comparação e emitir as ordens de ação.

Para além deste processador, será necessária uma fonte de alimentação de corrente, que terá de ser corretamente dimensionada para o PLC e as aplicações que este irá desempenhar, uma unidade de armazenamento de dados, na qual será armazenado o programa que o PLC terá de desempenhar, bem como os dados recebidos dos sensores e uma interface de entrada e saída de dados através da qual os diversos sensores irão comunicar com o processador. Caso o sistema em consideração seja bastante grande e seja necessário o uso de um PLC remoto secundário, serão ainda necessários módulos de comunicação para a interação entre estes.

As maiores vantagens deste tipo de controlo passam por várias características que já foram referidas aqui. Quando comparados com outros tipos de sistemas de controlo, os PLC's são capazes de fornecer o maior nível de versatilidade e flexibilidade de aplicação, existindo modelos capazes de o fazer em qualquer tipo de ambiente. Para além disso, a alteração do programa de funcionamento dos mesmos é bastante simples, não sendo necessário modificar nenhuma das conexões físicas do sistema e podendo

esta ser feita através de um computador, o que facilita também a análise e resolução de problemas que ocorram.

4.4.2 Requisitos do Sistema de Controlo

Não sendo necessário fazer a idealização deste sistema como nos casos anteriores, é, no entanto, necessário fazer uma análise às funções que este terá de desempenhar para que, aquando da seleção de componentes, o sistema PLC selecionado seja capaz de corresponder a todas as funções que lhe sejam solicitadas.

O primeiro requisito que irá surgir terá a ver com a montagem e conexão dos diversos componentes, de modo a fazer com que estes se tornem num único sistema e funcionem em harmonia. Tendo este fator em mente desde o início do desenvolvimento da máquina, durante a seleção dos componentes que compõem os sistemas, anteriores procurou garantir-se que estes teriam por base o mesmo tipo de conexão e de protocolos de comunicação, garantindo a possibilidade da sua conexão a um PLC. Assim sendo, será este PLC que servirá como ponte entre estes e que transformará os 3 sistemas separados numa só máquina a funcionar de forma coordenada e organizada.

Sendo que todos os sistemas serão conectados a este PLC, irá surgir outra questão no que toca a esta ligação, relacionada com o número de entradas e saídas de sinal que será necessário para que todos os componentes sejam conectados. Torna-se então necessário analisar o método de conexão dos diversos sistemas aquando da seleção de componentes do sistema PLC para garantir este bom funcionamento.

Analisando agora o que diz respeito às funcionalidades técnicas deste sistema, estas serão responsáveis pelo correto funcionamento da maior parte dos sistemas anteriores que, autonomamente, não serão capazes de desempenhar nenhuma função considerável. Deste modo, estas funcionalidades referentes ao controlador terão de ser, de certa forma, o conjunto de tudo aquilo que foi referido anteriormente que os restantes sistemas teriam de desempenhar. Pretende-se, de modo a simplificar a utilização e programação da máquina, que todas as funcionalidades que necessitem de programação, por exemplo, efetuar a tara da balança após a fixação da tesoura na mesma, sejam capazes de ser executadas através da interface do PLC, sendo assim apenas necessário trabalhar a partir deste para definir todo o funcionamento da máquina,

Como foi referido no capítulo anterior, os PLC's possuem uma unidade de armazenamento na qual é possível fazer o armazenamento de dados. Esta memória, para além de servir para

armazenamento de dados em tempo real necessários ao funcionamento do PLC, pode também ser utilizada para efetuar o registo de dados ao longo de um determinado intervalo de tempo. Esta função pode ser utilizada na deteção de falhas no funcionamento do sistema, registando dados durante um período pré-programado, sendo estes consultados posteriormente e permitindo verificar onde e como o erro ocorreu.

Para além deste método funcionamento, esta função pode ser utilizada para o registo de dados da maneira que se pretende fazer com a máquina, para posterior processamento. Sendo esta unidade de armazenamento bastante mais poderosa que o armazenamento apresentado pelos componentes do sistema de medição de carga que seriam responsáveis por este registo de dados, optou-se por passar esta função para o PLC. Este, em conjunto com o sistema de medição de carga irá permitir o armazenamento de uma maior quantidade de dados em cada teste se assim for necessário, bem como efetuar o registo de um número de testes mais elevado sem ser necessário exportar estes para um computador diretamente após um teste, de forma a libertar memória para o próximo teste.

Para além de todas as funções de funcionamento inerentes aos diversos sistemas que terão de ser desempenhadas com o auxílio deste sistema de controlo, um dos pontos fundamentais deste será o desempenho das funções de segurança que já foram referidas num capítulo anterior. Estas terão de ser tidas em conta durante a programação do PLC, fazendo parte do seu programa e integrando o funcionamento da máquina, tendo de ser verificadas a cada operação de corte.

4.4.3 Seleção de Componentes

Feita esta análise, pode finalmente dirigir-se o foco do trabalho para a seleção dos componentes que irão compor o sistema de controlo. Como foi referido anteriormente, todos os componentes selecionados anteriormente do fornecedor *SIEMENS* foram desenvolvidos tendo em mente a sua utilização em conjunto com um sistema de controlo de PLC. Para além disto, fez-se questão de que, de forma a manter coerência, todos os componentes escolhidos fossem compatíveis com o mesmo modelo de PLC, sendo neste caso o sistema S7-1500. ⁴⁵

Este sistema apresenta-se como sendo um dos sistemas mais avançados e capazes oferecidos pela *SIEMENS* para esta função, tendo sido feita a sua escolha, em primeira instância, devido à utilização de motores elétricos para movimentação controlada. Sendo esta uma aplicação que requer uma capacidade de processamento significativa, principalmente considerando a coordenação dos diversos sistemas de movimentação existentes na máquina, será este o sistema mais indicado. Embora seja

possível conseguir estas aplicações com outro modelo de PLC, optou-se por este de modo a evitar a ocorrência de problemas durante o seu funcionamento.

Começou então por analisar-se as funcionalidades fornecidas por este sistema, podendo confirmar-se desde logo que este irá ser constituído pelos módulos gerais de um PLC que foram referidos anteriormente. Para além destes módulos básicos, o sistema S7-1500 fornece ainda outros mais avançados que permitem funções como funcionamento distribuído do PLC ou funcionalidades básicas de inteligência artificial, que não serão necessárias neste caso, pelo que foram ignoradas.

Em oposição a isto, este sistema apresenta também um leque de funcionalidades integradas que serão bastante vantajosas para o funcionamento da máquina. De entre estas destacam-se a rapidez de processamento, que será bastante útil para a medição e registo de carga, bem como funções de diagnóstico e segurança integradas, que serão utilizadas para evitar a ocorrência de falhas durante o funcionamento da máquina.

Deste modo, começa-se a seleção de componentes pela unidade de processamento pois será esta a que maior influência terá nas capacidades, e funcionamento do PLC. Pela consulta do catálogo ⁴⁶ no qual estes produtos são disponibilizados, pode verificar-se que estes módulos, à semelhança de todos os restantes, são divididos em diversas tipologias, que não afetam o seu funcionamento, mas sim algumas características físicas do mesmo, tais como as suas dimensões ou resistência às condições externas de funcionamento. Não sendo isto requisitos inerentes à máquina, optou-se pela seleção das unidades de controlo regulares, que serão suficientes para esta utilização.

Dentro deste tipo de unidades de controlo, irão surgir um número de diferentes modelos com diferentes capacidades. Esta seleção terá de ser feita mediante o número e complexidade das funções que terão de ser desempenhadas pela máquina, dado que todas estas irão estar ligadas ao PLC. Tendo isto em conta, seleccionou-se a unidade de controlo CPU 1515-2 PN, que se apresenta no meio do espectro de complexidade de unidades de controlo, possuindo todas as funções mais relevantes que são disponibilizadas, sendo capaz de controlar e comandar um elevado leque de operações, que é o ideal para este caso.

Possui também capacidade de efetuar conexões por protocolo *PROFINET*, que já foi mencionado anteriormente como o método de conexão dos componentes selecionados para os sistemas anteriores, para além de possuir funções de controlo de movimento integradas que se revelarão bastante úteis para o controlo dos motores que farão parte da máquina.

No seguimento da seleção desta unidade de processamento, segue-se a seleção da unidade de memória requerida para o funcionamento do PLC. No que toca aos sistemas S7-1500, esta função é desempenhada através da utilização de um cartão de memória que será inserido na unidade de controlo.

Este, para além de essencial ao funcionamento do PLC para que este seja capaz de processar as ações a desempenhar, será também responsável pelo armazenamento dos dados de força de corte a ser registados, pelo que terá de possuir uma capacidade de memória considerável. Assim sendo, existindo modelos destes cartões de memória cuja capacidade varia desde os 4 MB aos 32 GB, escolheu-se uma opção entre estes dois valores, de 2 GB, que será suficiente para garantir tanto o bom funcionamento do PLC como a capacidade de armazenamento de dados referentes a diversos testes.

Estando assim selecionados os componentes centrais do funcionamento do PLC, pode seguir-se com a seleção dos restantes componentes, optando por selecionar os módulos de entrada e saída de sinal do sistema em segundo lugar.

Como já foi referido, estes serão responsáveis por fazer a interface entre o sinal emitido pelos diversos componentes que são ligados ao PLC e, do mesmo modo, enviar a estes o sinal que o controlador emite. Considerando que, no sistema em desenvolvimento, o número de componentes em que esta emissão e receção de sinal é reduzido, não será necessária a seleção de módulos deste tipo com demasiada complexidade, sendo possível a utilização de um dos modelos mais simples.

Neste caso, estes módulos dividem-se em 3 categorias, módulos de entrada, módulos de saída, e módulos conjuntos de entrada e saída. Dadas as circunstâncias que foram referidas anteriormente, decidiu optar-se pela última modalidade de modo a simplificar o sistema, sendo selecionado assim o módulo SM 523. Este possui 16 entradas e 16 saídas de sinal, suficientes para a aplicação em desenvolvimento, para além de possuir um *design* compacto com dimensões reduzidas que, mais uma vez, simplificam este sistema.

Resta apenas efetuar a seleção de uma fonte de alimentação de corrente para este sistema, sendo este processo também bastante simples. Esta será responsável por alimentar todos os módulos que forem acoplados ao PLC, nos quais se incluem todos os componentes do sistema de controlo, o módulo de pesagem do sistema de medição de carga e ainda os sensores de posição, sendo estas conexões analisadas em detalhe num capítulo seguinte. Quanto aos motores utilizados, dado que estes apresentam os seus respetivos módulos de controlo, esta fonte de alimentação de corrente não irá influenciar o seu funcionamento.

Assim sendo, analisando as fontes de corrente disponibilizadas no respetivo catálogo, pode verificar-se que apenas existem duas, que variam apenas no intervalo de intensidade da corrente de

saída, na eficiência e potência nominal de funcionamento. Considerando que a máquina irá funcionar por elevados intervalos de tempo, optou-se por fazer a seleção do modelo mais avançado, o *PM 1507 24 V/8 A*, garantindo assim que não irá ocorrer falha da máquina a partir de uma falha da fonte de alimentação, e que esta tem capacidade para suportar quaisquer sobrecargas que possam ocorrer durante o seu funcionamento.

Serão estes os componentes principais dos quais irá ser composta a máquina, dando-se assim por completa a seleção destes. Será ainda necessário abordar as conexões e protocolos de ligação específicos entre os mesmos, o que será detalhado numa fase posterior. De referir ainda que, a programação deste sistema terá de ser efetuada num *software* específico para este efeito, sendo este o *SIMATIC STEP 7*.

Termina-se assim a seleção de componentes para este sistema, podendo estes ser analisados com maior detalhe na lista de componentes apresentada no Anexo I.

5. MONTAGEM E INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES

Tendo sido concluída a seleção de todos os componentes da máquina e sabendo que estes são capazes de desempenhar todas as funções que serão necessárias ao funcionamento da máquina, não se pode dar o trabalho por concluído. No seu estado atual, os componentes encontram-se desconectados e sem especificações de funcionamento, o que significa que ainda são incapazes de trabalhar e de desempenhar as suas funções, tornando-se assim um requisito abordar estes temas e garantir as respetivas diretrizes para cumprir estes tópicos.

Após a conclusão de todos os tópicos apresentados neste capítulo, foi elaborado um diagrama de ligação de todos os componentes, que pode ser visualizado no Anexo II, permitindo perceber melhor o funcionamento destes.

5.1 Protocolos de Comunicação entre Componentes

Com protocolo de comunicação pretende definir-se o conjunto de regras e sintaxe que uma mensagem digital de controlo de um sistema tem de respeitar para que este funcione corretamente, ou seja, por outras palavras, a linguagem através da qual os diversos componentes dos quais um sistema consiste comunicam. Como é expectável, caso dois componentes operem com base em dois protocolos de comunicação diferentes, quando uma mensagem for enviada pelo primeiro, o segundo não será capaz de a ler, não existindo assim comunicação e coordenação entre estes.⁴⁷

Deste modo, anteriormente aquando da seleção de todos os componentes, fez-se questão de ter este fator em consideração, garantindo que todos estes tinham a capacidade de comunicar através do mesmo protocolo. O protocolo em questão selecionado foi o *PROFINET* que, para além de estar presente em todos os componentes selecionados, é bastante simples de operar.

O funcionamento deste protocolo é baseado na utilização de redes de *Ethernet* industrial, as quais são direcionadas para a receção de dados de componentes e controlo destes mesmos, fazendo-o de forma rápida e precisa. Quanto ao seu funcionamento, num sistema *PROFINET* os componentes irão dividir-se em dois tipos, sendo estes os “controladores” e os “dispositivos”. Como o nome indica, os “controladores” irão emitir ordens para os “dispositivos”, sendo que estes as leem e agem conformemente, como no caso dos motores, e enviam *feedback* de volta aos “controladores”, como no caso dos sensores. Estes, lendo o *feedback* emitido irão calcular os ajustes necessários e emitir novas ordens para os “dispositivos”. Existem ainda os componentes do tipo “supervisor” que não são

essenciais ao funcionamento de um sistema *PROFINET*, mas servem para efetuar a programação e definir parâmetros de funcionamento deste sistema, ou fazer o diagnóstico e correção de erros em caso de falha deste.

No que toca à integração do protocolo *PROFINET* num sistema de controlo SIMATIC, cada componente irá possuir um certo número de portas de conexão, que permitem que a comunicação entre os diversos componentes possa ser feita mediante duas tipologias de conexão, em linha ou em anel.

Uma tipologia de conexão define-se como sendo a maneira em que os vários componentes de um sistema se conectam e comunicam entre si, sendo que, numa rede em linha, os componentes estão ligados linearmente um a um existindo tipicamente um cabo principal que corre todo o sistema e ao qual todos os componentes da rede são conectados.

Numa rede conectada em anel, todos os componentes são conectados entre si de forma a formar um anel, sendo que os dados emitidos atravessam todos os componentes, e cada um destes tem acesso a toda a informação, mas agindo apenas sobre aquela que lhe diz respeito, voltando a enviar esta para o componente seguinte.⁴⁸

Relativamente aos componentes da *SIEMENS* a ser ligados por um protocolo *PROFINET*, embora possam ser utilizadas as duas opções, estes possuem portas de conexão específicas que irão beneficiar a utilização de uma conexão em linha, pelo que foi esta tipologia que se escolheu para conectar todos estes componentes.⁴⁹

Assim sendo, irá ser emitido um sinal pelo controlador que será enviado para todos os componentes e, sendo que cada um destes terá um endereço identificativo, este sinal irá possuir ordens endereçadas a cada componente em específico. Quando receber uma ordem, o componente irá identificar as ordens que lhe são direcionadas praticando as respetivas ações, enquanto que enviará o sinal de feedback de volta ao controlador.

Tendo sido analisadas as características deste tipo de conexão, passa a possuir-se o conhecimento para poder começar a conectar-se os componentes e formar o sistema. Neste caso, os componentes que serão ligados através de *PROFINET* podem ser analisados na Figura 44, bem como as respetivas linhas de ligação.

Pode também observar-se que, alguns dos componentes já se encontram montados, tais como o sistema do PLC e o controlador de frequência do motor, sendo que este processo se irá analisar adiante, existindo também uma conexão entre o PLC e um computador, sendo que esta será feita de maneira a possibilitar a programação do PLC e do seu funcionamento, e ajuste de valores referentes ao funcionamento dos restantes sistemas, sendo esta conexão também do tipo *PROFINET*.

Para além disto e mais importante, podem observar-se os cabos e conetores que tornaram possível as ligações que se vêm falando aqui. Estes componentes serão essenciais e como tal é necessário efetuar a sua seleção, sendo que o cabo e os conetores são fornecidos em separado, sendo o utilizador a proceder à sua montagem posteriormente.

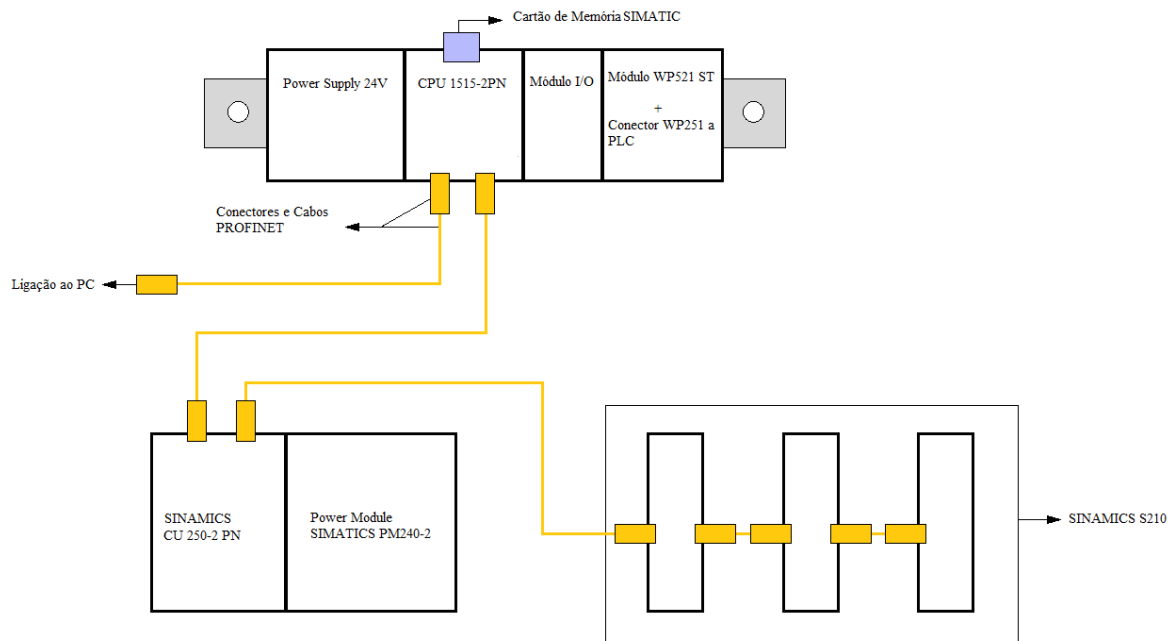


Figura 44 - Diagrama de ligação dos componentes PROFINET.

Começa então por analisar-se o cabo selecionado, tendo esta seleção sido feita mediante a recomendação para utilização com o PLC selecionado. Este é do tipo *PROFINET* tipo "A", o que significa que possui 4 núcleos interiores onde são transmitidos os sinais, o que garante que, se ocorrer a falha num deles, os restantes três continuam a funcionar corretamente e não há falha do sistema. É um produto vendido ao metro, e é desenvolvido para ser utilizado em conjunto com um conector do tipo RJ45, procedendo-se assim à seleção do mesmo. Este será do tipo *FastConnect RJ45*, com estrutura em metal e de montagem rápida e simples.

Estes dois componentes podem ser analisados na Figura 45, onde se pode ver uma secção do cabo escolhido, verificando os quatro núcleos e transmissão de dados, bem como a sua estrutura e revestimento de proteção, e o conector *FastConnect RJ45*, aberto antes de ser acoplado ao cabo, podendo ser examinado este mecanismo de fixação.



Figura 45 - Cabo e conector a serem utilizados para as conceções PROFINET. 50,51

5.2 Montagem das Células e Design da Plataforma

Uma das secções mais relevantes da máquina será a plataforma na qual as tesouras serão montadas no momento de teste. O design desta irá afetar não só a maneira como a tesoura se encontra posicionada durante o teste, mas também a forma como a carga será medida pelas células.

Como foi mencionado anteriormente, de forma a prevenir a ocorrência de erros de medida ou falhas das células de carga aquando do teste das tesouras, terá de ser utilizado um conjunto de 3 células dispostas da maneira correta, que irão servir como suporte da plataforma. Como foi referido também, esta terá de possuir dimensões máximas de 350x350 milímetros.

Tendo sido analisado anteriormente os requisitos e respetivo funcionamento da plataforma no que diz respeito à fixação das tesouras, falta ainda determinar o seu funcionamento no que toca à ao apoio da mesma nas células. Lembra-se, como pode ser visto na Figura 46, que existe uma plataforma superior na qual a tesoura será fixada diretamente, sendo esta plataforma regulável em altura através da utilização de um conjunto de veios roscados. Estes estarão fixos a uma plataforma imóvel inferior, sendo esta que realmente se encontra apoiada nas células, e o estudo desta fixação que será feito.

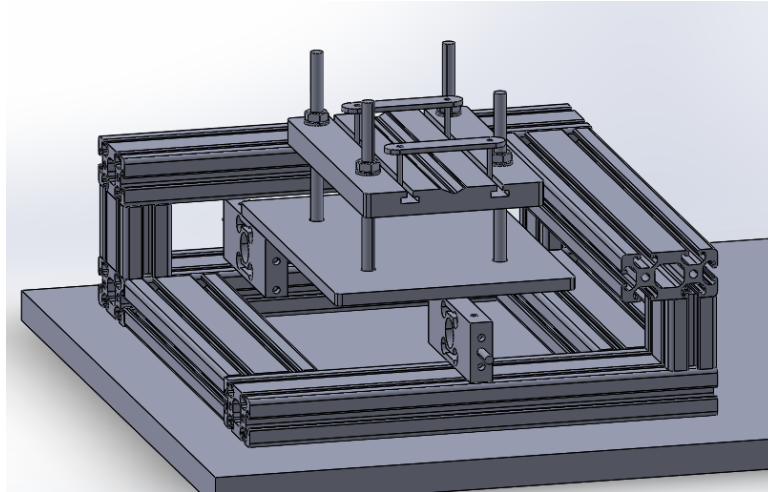


Figura 46 – Representação da plataforma inserida no contexto da máquina.

O primeiro requisito a ter em conta será o tamanho da plataforma e sendo que a que foi desenhada possui o tamanho de 300x200 milímetros, este fator é correspondido. No que toca ao número de células, sendo que serão utilizadas apenas três, irá existir obrigatoriamente um lado que apenas será suportado num ponto, pelo que se torna necessário efetuar uma decisão sobre qual destes será.

Como se pode verificar na Figura 47, em que a plataforma inferior se apresenta com opacidade reduzida, optou-se por deixar a parte da frente com apenas uma célula, fortalecendo deste modo a secção traseira. Esta decisão teve por base o facto de que aquando da operação de corte, o cabo da tesoura, que será a parte que realmente estará fixa na plataforma, irá apoiar-se maioritariamente na sua parte traseira, visto que parte dianteira consistirá da lâmina da tesoura. Isto faz com que possam surgir cargas mais elevadas na traseira da plataforma, e daí se ter escolhido reforçar esta parte.

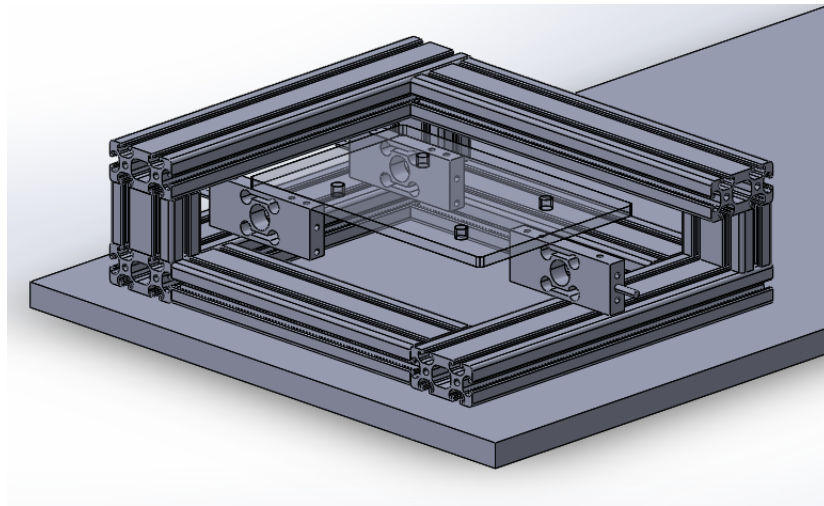


Figura 47 – Montagem da plataforma de pesagem nas células.

Quanto à sua fixação propriamente dita, para determinar esta é necessário observar as células de carga, como estas funcionam e o seu desenho, podendo isto ser examinado na Figura 48.

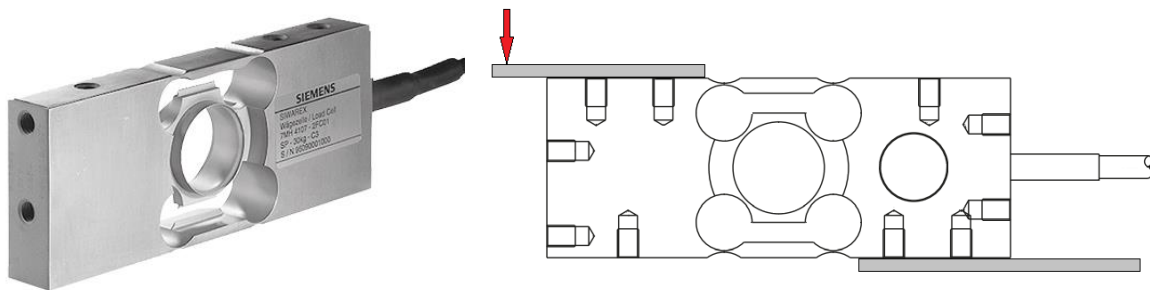


Figura 48 - Célula de carga e respetivo desenho representativo.

No desenho à direita pretendeu-se representar aquilo que será o funcionamento básico da célula, sendo esta representada em traço negro. A cinzento pretendeu representar-se os apoios da célula, e a vermelha a carga aplicada, que neste caso provem da plataforma.

Este desenho permite também apurar o funcionamento da célula de carga, representando-se a plataforma cinzenta inferior fixa e correspondente à estrutura da máquina onde a célula se encontra fixada, e a plataforma cinzenta superior à plataforma de suporte da tesoura. Quando a carga for aplicada nesta, pode também verificar-se que irá ocorrer uma pequena deformação da célula no seu centro, sendo este o mecanismo que permitirá a medição da carga.

Uma análise deste desenho permite observar um conjunto de orifícios roscados que se encontram nas faces da célula, sendo o objetivo destes permitir a fixação dos restantes componentes.

Pode assim concluir-se que a fixação da plataforma será feita desta maneira, aparafusando a mesma em dois dos orifícios superiores da célula, e sendo esta fixa à estrutura através do mesmo método.

5.3 Instalação dos Componentes da Família SIMATIC

Continuando com o trabalho que se tem vindo a expor nos capítulos anteriores, é agora necessário analisar a montagem e conexão dos componentes *SIMATIC* que irão compor o PLC. Esta instalação irá dizer respeito não apenas à montagem física dos mesmos, mas irá também ser responsável pela conexão para a transmissão de dados dos mesmos, dado que este é um sistema modular em que os componentes encaixam entre si. Refere-se ainda que, embora o módulo de pesagem não tenha sido referido anteriormente quando se abordaram os componentes *SIMATIC*, este fará parte desta montagem dadas as suas características e que é desenhado para este efeito. Apresenta-se assim todo o processo que levará da montagem destes componentes até o início do seu funcionamento. ⁵²

Deste modo, o primeiro fator a referir é a necessidade de inclusão, nos componentes que irão compor o sistema, de uma calha de montagem específica, que irá permitir esta montagem modular dos componentes, podendo esta depois ser montada onde se pretender que este sistema se localize.

Esta encontra-se representada na Figura 49 em que, como se pode verificar, existem um conjunto de ranhuras que irão permitir o apoio e alinhamento de todos os componentes, de forma a que a montagem seja efetuada corretamente. A ranhura superior irá ser utilizada para apoiar os componentes e efetuar o seu alinhamento, enquanto que a inferior irá permitir a utilização de um parafuso para a fixação destes. Existindo modelos de vários tamanhos, foi selecionada a versão de 245 mm, que é suficiente para abarcar os componentes necessários.



Figura 49 - Rail de montagem SIMATIC. ⁵³

Pode seguir-se então com este processo de instalação dos componentes que começa com a colocação e fixação da fonte de alimentação de corrente na calha, sendo esta colocada no lado esquerdo. Uma vez que esta se encontre fixada, o segundo componente e o que se encontrará à sua direita será a unidade de controlo do PLC, sendo esta conexão entre componentes efetuada através de um componente chamado de conector em U, que pode ser analisado na Figura 50.

Como pode ser observado, este possui dois conjuntos de conectores, sendo que cada um destes irá estar ligado à parte traseira de dois componentes vizinhos, efetuando a conexão entre os mesmos, sendo colocados apenas entre dois componentes. Este conector em U é de extrema importância dado que é através deste que são transmitidos tanto os dados que atravessam o sistema, como a corrente elétrica que será utilizada para alimentar os restantes módulos. Estes são incluídos aquando do fornecimento dos restantes módulos pelo que não é necessário fazer a sua encomenda em específico.



Figura 50 - Conector em U SIMATIC. ⁵⁴

Voltando à montagem da fonte de alimentação de corrente que será o primeiro componente a integrar este sistema, este é o único em que na sua montagem não será utilizado um conector em U. Sendo que este componente será responsável por fornecer corrente elétrica a todo o restante sistema, existe a possibilidade de que a temperatura gerada pelo seu funcionamento apresente valores elevados, que irão afetar o funcionamento dos restantes componentes. Por isto, esta fonte de alimentação terá de ser colocada do lado esquerdo com alguma distância dos restantes componentes evitando assim este efeito negativo.

A montagem desta é relativamente simples, começando por pousar-se esta na ranhura superior, e fazendo o aparafusamento da mesma na inferior, ficando esta montagem concluída e o primeiro componente do sistema acoplado. Este processo pode ser analisado esquematicamente na Figura 51.

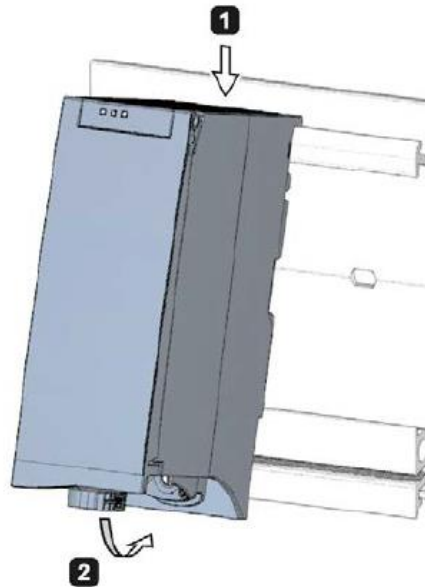


Figura 51 – Processo de montagem da fonte de alimentação.

Uma vez que esta fonte de alimentação se encontre acoplada à calha, torna-se necessário efetuar a sua conexão à corrente elétrica. Para isto começa-se por abrir a cobertura frontal deste componente e remover o conector do cabo de alimentação, o que é conseguido através do clique num botão. De seguida, este conector possui um parafuso que necessita ser desapertado, o que permite a abertura da cobertura deste conector, expondo assim os pinos de conexão para o cabo de alimentação.

Com esta cobertura e os pinos expostos, resta apenas descarnar o cabo de alimentação e fazer a sua ligação a este conector, que uma vez concluída permite voltar a fechar a cobertura do conector, apertar o parafuso de segurança e finalmente voltar a inserir o conector do cabo de alimentação na fonte de alimentação, estando assim a conexão desta à rede elétrica completa. Na Figura 52 pode observar-se um esquema representativo desta montagem, podendo ser também conferido o digrama de ligação do cabo de alimentação, representado pelo número 4.

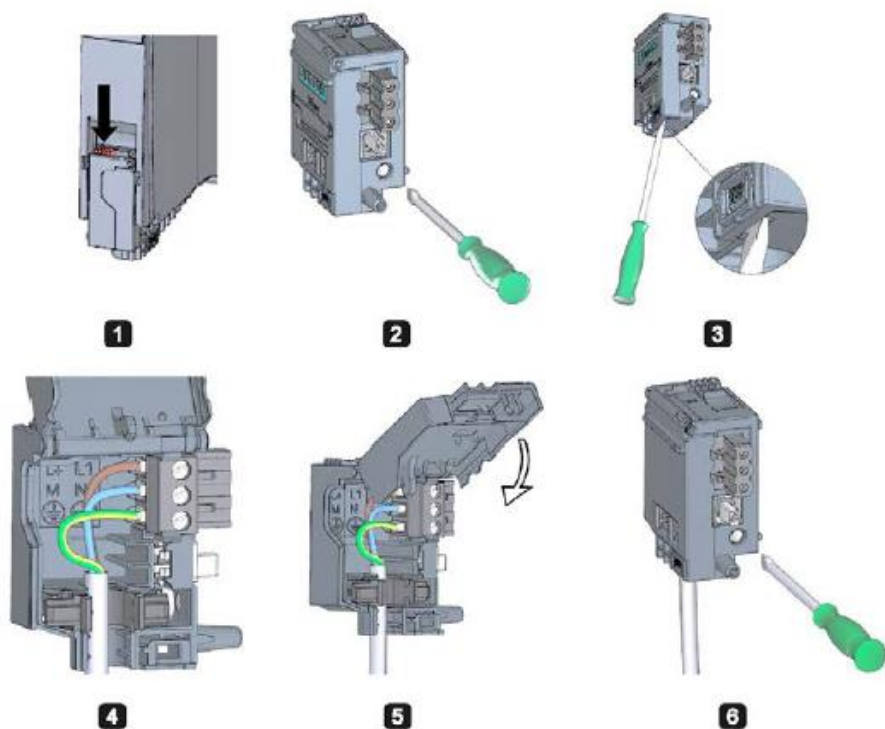


Figura 52 - Ligação da fonte de alimentação de corrente à rede elétrica.

Terminando assim a conexão da fonte de alimentação, passa-se à instalação da unidade de controlo. Este processo será bastante semelhante ao anterior, no entanto é necessário que, antes de tudo, um dos conectores em U seja introduzido no lado direito do controlador, garantindo assim que seja possível efetuar a ligação do componente seguinte. Uma vez que isto seja concluído, repete-se o processo de pousar o controlador na ranhura superior, e fazer de seguida o seu aparafusamento na ranhura inferior, ficando assim o controlador montado no sistema. À semelhança dos casos anteriores, este processo é demonstrado na Figura 53.

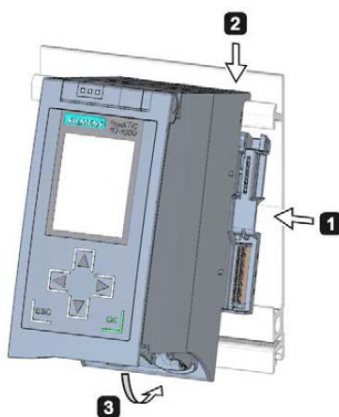


Figura 53 – Processo de montagem do módulo de controlo.

Após a montagem do módulo de controlo, resta apenas instalar os módulos de entrada e saída de sinal e de pesagem, cujo método será exatamente igual aos anteriores, começando pelo módulo de entrada e saída de sinal que ficará à direita do módulo de controlo, e seguindo-se com o módulo de pesagem, que será o último componente e posicionado à direita dos restantes. Aquando da montagem deste, no entanto, não será necessário que um conector em U seja utilizado dado que não irá existir nenhum componente à sua direita. Na Figura 54 pode observar-se uma representação daquilo que será a montagem final.

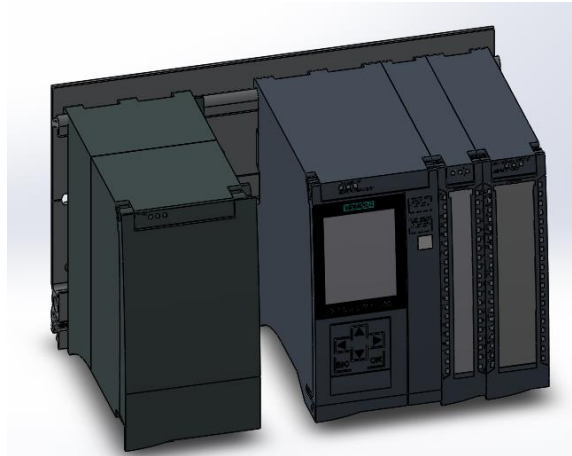


Figura 54 - Montagem final dos componentes SIMATIC.

Dando-se assim por terminada a montagem física dos componentes, este processo não se completou totalmente ainda dado que ainda é necessário efetuar a ligação elétrica de alguns componentes, e sendo ainda necessário abordar os protocolos de iniciação do funcionamento deste sistema.

Deste modo, tendo devidamente instalado todos os componentes na calha e efetuando a ligação à corrente da fonte de alimentação, o passo seguinte é fazer a ligação desta ao módulo de controlo, permitindo assim o seu funcionamento, e de todos os restantes componentes, sendo este processo bastante simples. Levantando a cobertura tanto da fonte de alimentação como do módulo de controlo, irão encontrar-se dois conjuntos de conectores elétricos que servirão para a transmissão de corrente elétrica.

Posto isto, basta fazer a conexão dos mesmo da maneira que pode ser observada na Figura 55, e ficando assim a fonte de alimentação conectada ao resto do sistema. Uma vez que a corrente elétrica chegue ao módulo de controlo, esta será automaticamente transmitida aos restantes componentes do sistema através dos conectores em U.

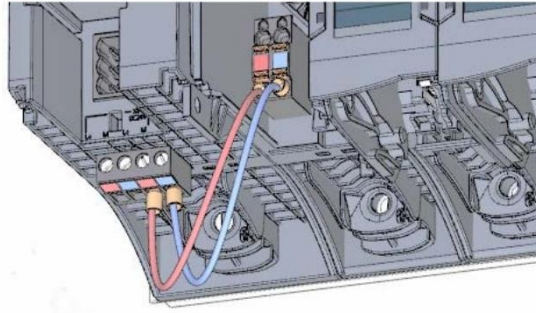


Figura 55 - Conexão elétrica entre fonte de alimentação de corrente e módulo de controle.

Como foi referido anteriormente, um dos componentes necessários para o funcionamento do sistema de medição de carga será um conector específico para permitir a ligação dos cabos provenientes das células de carga. Será também utilizado um componente deste tipo no módulo de entrada e saída de sinal, que não foi referido anteriormente durante a seleção de componentes, pois aparece incluído no mesmo, contrariamente ao caso do módulo de pesagem.

Sendo este utilizado extensivamente nos módulos responsáveis pela entrada ou saída de sinais, o seu objetivo é facilitar a conexão de todos os cabos, ou troca dos mesmos não tendo esta de ser feita no interior do módulo. Para além disso, permite que, em caso de falha do conector, este possa ser trocado sem que tenha de se descartar o módulo totalmente.

Deste modo, a sua montagem é bastantes simples, iniciando-se com a conexão de todos os cabos que forem necessários a este conector. Para isto começa-se por ter a cobertura do módulo completamente aberta, tornando-se possível encaixar o conector numa ranhura que se apresenta na parte inferior do mesmo, e uma vez que isto seja feito pode rodar-se a parte superior do conector em torno deste ponto, o que o leva a uma posição estática no exterior do módulo, podendo este processo ser observado na Figura 56.

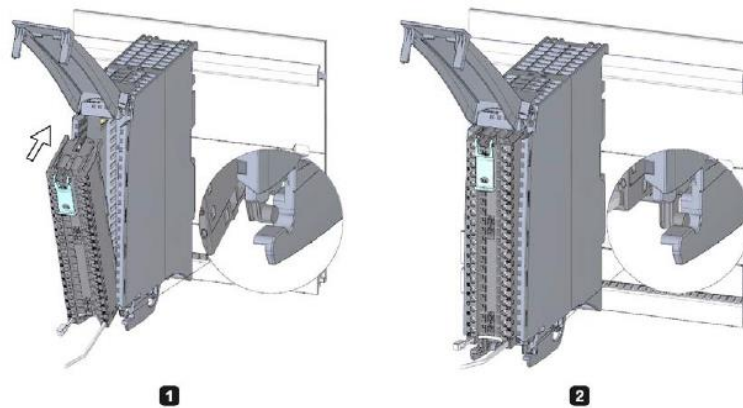


Figura 56 – Posição do conector para montagem dos cabos necessários.

Posto isto, e uma vez que todas as ligações se encontrem terminadas, resta apenas levar o conector à sua posição final. Como pode ser verificado na Figura 57. Para isto começa por voltar a rodar-se a sua parte superior na direção oposta da que foi descrita acima, ficando o conector móvel, e podendo efetuar-se o movimento apresentado na figura a vermelho, o que o leva à sua posição final e termina a conexão do mesmo e de todos os componentes cujo sinal é transmitido por estes módulos, tais como as células de carga e os sensores *SIRIUS*.

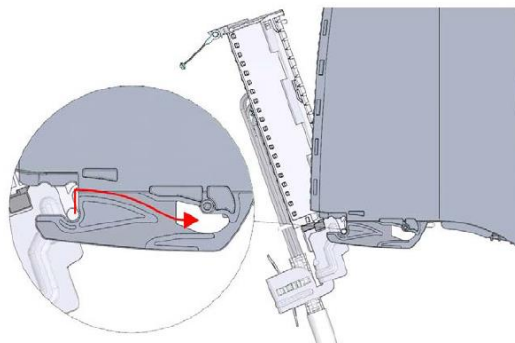


Figura 57 - Posição final do conector.

Por último, uma vez que tudo se encontre conectado, para dar início ao funcionamento do sistema, basta levantar-se a cobertura da unidade de controlo e inserir o cartão de memória SIMATIC, ficando assim o sistema completo. Abrindo a cobertura da fonte de alimentação, pode encontrar-se o interruptor principal que, quando ativado liga todo o sistema e permite assim o seu funcionamento.

5.4 Montagem dos Motores Elétricos e Transmissão de Movimento

Tendo terminado a instalação do sistema de controlo e dos seus componentes, optou-se por direccionar o foco do trabalho para a montagem dos motores eléctricos em que, mais uma vez, esta irá consistir tanto da montagem física dos motores na estrutura da máquina, como da conexão eletrónica dos mesmos ao restante sistema. Deste modo irá começar então por analisar-se os servomotores da máquina e desenvolvendo uma solução para os mesmos, terminando de seguida com o motor do sistema de atuação.

Começando então por fazer uma análise aos servomotores, decidiu dirigir-se em primeira instância o foco para a sua montagem física. Aqui, irão existir duas questões que terão de ser resolvidas, sendo estas a fixação do motor à estrutura da máquina, e a transmissão do seu movimento aos sistemas da mesma. Assim sendo, decidiu começar-se por garantir que esta transmissão de movimento é conseguida, e só depois se procedeu à fixação dos motores.

Para desenvolver esta transmissão de movimento começou por analisar-se tanto os motores como os veios aos quais estes terão de transmitir o movimento, de maneira a melhor perceber como este processo pode ser conseguido. Começando pelos servomotores, aquando da seleção dos mesmos possuiu-se a possibilidade de seleccionar que tipo de veio a ser utilizado nos mesmos, ou um veio liso ou com chaveta, tendo sido este último selecionado, dado que se previu desde então esta necessidade de transmissão de movimento. Para além disso sendo, de maneira geral, todos os motores o mesmo modelo, fazendo a análise a um deles, ficam a conhecer-se as características de todos estes.

Assim sendo, apresenta-se na Figura 58 uma porção deste motor que dispõe a respetiva montagem de veio e chaveta cujas dimensões necessitam ser analisadas. Começando pelo veio, este possuirá um diâmetro de 14 milímetros, e por consequência, possuindo a chaveta dimensões normalizadas fica a saber-se automaticamente a sua dimensão.

Para um veio de 14 milímetros, a chaveta ideal terá 5 milímetros de altura, 5 milímetros de largura e, neste caso, 11 milímetros de comprimento. Fica também a saber-se a profundidade da ranhura de inserção da chaveta, que toma o valor de 3 milímetros. Resta apenas determinar uma medida, sendo esta a distância entre a extremidade do veio do motor e o início da chaveta, que toma o valor de 2 milímetros, ficando assim a conhecer-se todas as dimensões destes componentes. ⁵⁵

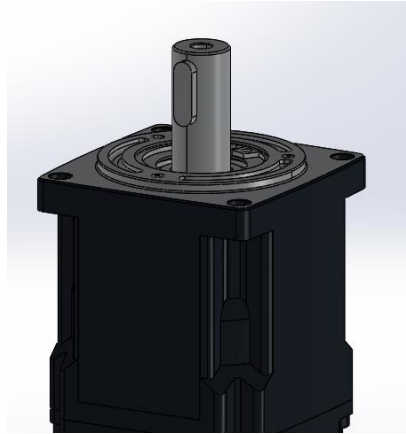


Figura 58 - Veio de transmissão de movimento dos servomotores elétricos.

Uma vez conhecidos os veios que irão ser responsáveis por esta movimentação, torna-se necessário conhecer os veios da máquina que irão ser movimentados, sendo estes apresentados na Figura 59. Fazendo uma análise aos mesmos, o veio que se apresenta à esquerda será responsável pela movimentação da came rotativa de alimentação dos varões de corte, o veio central será responsável pela movimentação do tapete rolante de deslocamento dos varões de corte, e o último veio será responsável pelo mecanismo de regulação de passagem dos varões de corte.

Quanto aos respetivos diâmetros, os dois primeiros apresentarão um valor de diâmetro igual, sendo este 10 milímetros, enquanto que o último veio apresentará diâmetro de 6 milímetros. Deste modo poderá dividir-se este desenvolvimento da transmissão de movimento em duas vertentes diferentes, sendo que os dois primeiros veios apresentarão o mesmo método de transmissão de movimento.

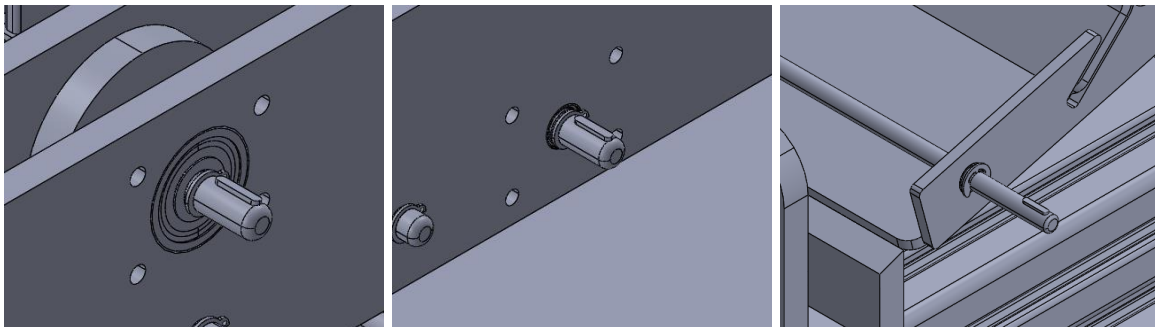


Figura 59 - Representação dos três veios a ser movimentados.

Assim sendo, e como pode observar-se pela figura, determinou-se que o melhor método para esta transmissão de movimento seria a utilização de chavetas também nestes veios, desenvolvendo posteriormente um componente capaz de fazer a sua ligação.

Assim sendo, para os dois primeiros veios de diâmetro 10 milímetros, a chaveta ideal irá possuir largura e altura igual a 3 milímetros, tendo sido selecionado um comprimento de 15 milímetros e, à semelhança do que aconteceu com os motores, posicionou-se esta chaveta a 2 milímetros da extremidade do veio. Por último, convém referir a profundidade da ranhura onde esta chaveta se irá inserir, que tomará o valor de 1,8 milímetros.

De forma análoga para o veio de diâmetro 6 milímetros, a chaveta a utilizar neste caso terá de apresentar 2 milímetros de largura e altura, com um comprimento de 10 milímetros, mais uma vez posicionada a 2 milímetros da extremidade do veio. Quanto à profundidade da ranhura de inserção, neste caso irá tomar o valor de 1,2 milímetros.

Posto isto, ficam assim conhecer-se todos os componentes intervenientes nesta transmissão de movimento, pelo que fica apenas a faltar um componente que efetue a ligação entre estes, componente este que foi desenvolvido e se apresenta na Figura 60, à esquerda em vista 3D, e à direita em desenho de uma seção em corte do mesmo de modo a melhor se perceber o seu funcionamento.

Este componente circular como pode ser observado irá possuir um furo em cada uma das suas extremidades, furos estes que terão, respetivamente, o diâmetro do veio do motor e do veio presente na máquina, sendo inseridos posteriormente no furo que lhes corresponde. Para além disso, existe em cada um dos furos uma ranhura, ranhura esta que servirá para a inserção da chaveta de cada um dos veios, garantindo assim que estes ficam fixados no sítio e que, quando um rodar o outro gira conjuntamente garantindo assim a transmissão deste movimento.

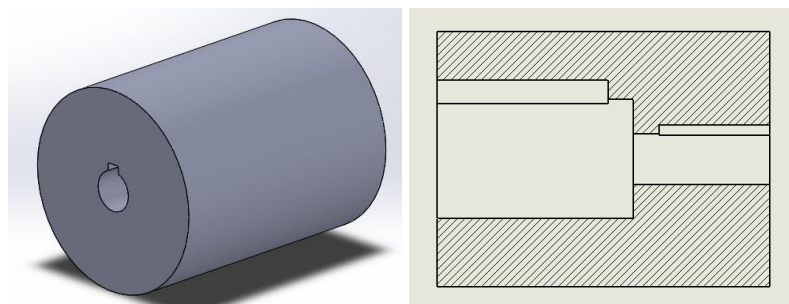


Figura 60 - Componente de ligação 6-14 mm.

Uma das dimensões mais importantes deste componente será a ranhura onde a chaveta será inserida. Mais uma vez, este valor é normalizado e dependente do diâmetro, pelo que foi consultado, obtendo-se para um diâmetro de 6 milímetros uma altura da ranhura de 1 mm, para um diâmetro de 10

milímetros uma altura de 1.4 milímetros, e para diâmetro igual a 14 milímetros uma altura de 2.3 milímetros, sendo os componentes desenhados mediante estes valores.

Refere-se ainda que estas ranhuras para as chavetas foram colocadas a uma distância de 3 milímetros do ponto onde os dois furos se encontram, para assim permitir uma folga de 2 milímetros entre os dois veios. No Anexo III podem consultar-se os desenhos técnicos destes componentes onde podem ser verificadas todas as restantes dimensões dos mesmos e obter um melhor entendimento dos mesmos.

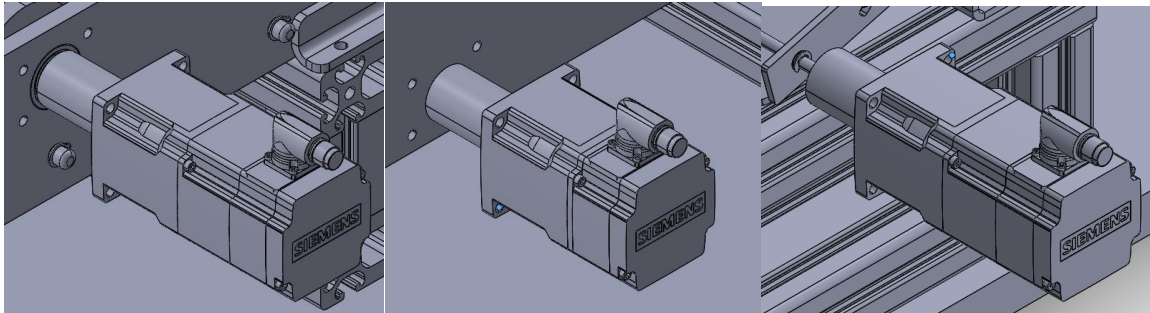


Figura 61 - Montagem Provisória dos motores.

Na Figura 61 pode observar-se uma montagem hipotética destes motores sem componente de fixação, englobando os componentes de transmissão de movimento, cuja análise permite verificar as restrições dimensionais que a fixação terá de respeitar. Sabe-se desde já qual a distância entre os motores e as faces de apoio na máquina o que será um dos componentes mais importantes.

Quanto ao método de fixação, para determinar este pode começar por analisar-se os motores, dado que estes possuem um método específico de o fazer. Apresenta-se na Figura 62 a parte frontal destes motores, de onde se projeta o respetivo veio, que permite analisar este método de fixação. Direcionado a atenção para os quatro cantos desta superfície do motor, podem observar-se quatro furos cujo objetivo é permitir esta fixação e através dos quais é suposto introduzir um conjunto de parafusos para que o motor seja fixado a um suporte ou superfície, ficando assim imobilizado.

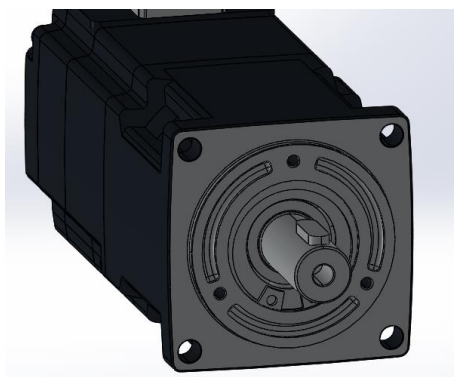


Figura 62 - Secção frontal do servomotor.

Quanto à fixação à estrutura da máquina, torna-se necessário observar os locais onde estes motores se irão localizar para determinar qual a possibilidade de fixação dos mesmos. Apresenta-se na Figura 63 a localização do motor da came rotativa e do tapete rolante em que, como pode ser verificado, existe área livre suficiente para que estes sejam fixos diretamente na parede da calha por onde circulam os varões de alimentação.

Para além disto, como foi referido anteriormente, estes dois veios possuem o mesmo diâmetro pelo que irão utilizar o mesmo componente de transmissão e movimento, o que significa que as suas dimensões no que toca à montagem do motor serão exatamente iguais. Assim sendo, pode considerar-se que o componente de fixação do motor será, de maneira semelhante, o mesmo para estes dois veios. Refere-se ainda que, embora se apresente já um conjunto de furos nesta figura, estes são consequência do posicionamento do componente de fixação, e ainda serão especificados de seguida.

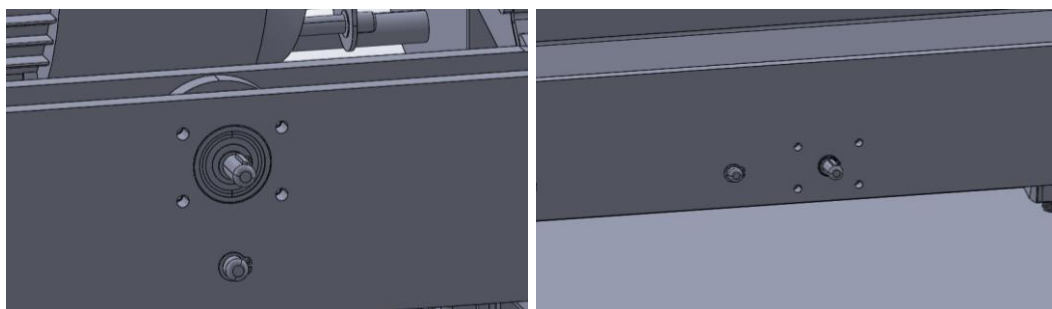


Figura 63 - Localização dos dois primeiros motores.

No entanto, como se pode observar na Figura 64, a localização do terceiro motor não permite uma fixação tão fácil. Isto porque no local em que o veio se situa não existe espaço suficiente para acoplar um componente de fixação de forma satisfatoriamente segura. Para conseguir isto é necessário direcionar a atenção para a parte inferior da figura, onde se localiza o perfil de alumínio da estrutura de

suporte da máquina. Este sim irá fornecer segurança estrutural suficiente para que o motor consiga ser fixado, sendo que ir-se-á partir deste componente para conseguir isto.

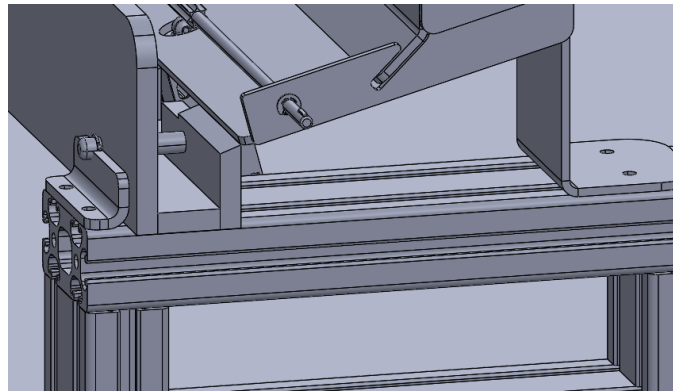


Figura 64 - Localização do terceiro motor.

Assim sendo, voltando aos dois primeiros motores que serão fixados à estrutura da calha onde deslizam os varões de corte, a fixação destes será feita com o auxílio do componente que se apresenta na Figura 65.

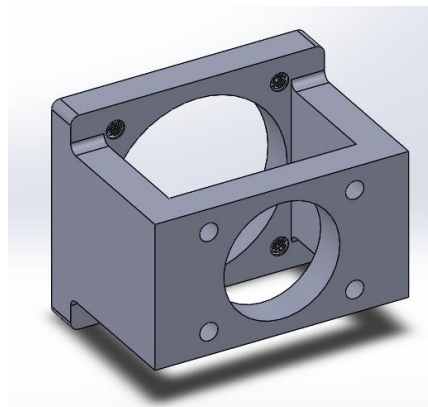


Figura 65 - Suporte dos primeiros dois motores.

Fazendo uma análise a este, a parte que se apresenta na frente será utilizada para fixar este suporte à calha, podendo observar-se um furo grande cujo intuito é permitir a movimentação e colocação do componente de transmissão de movimento. Para fixar este componente à calha, será necessário que sejam abertos nesta quatro furos semelhantes a estes, permitindo assim a introdução de um parafuso, que quando apertado com uma porca imobilizará este componente.

Quanto à fixação do motor a este suporte, esta será feita na parte que se apresenta atrás, em que como pode ser observado, dado o pouco espaço disponibilizado, será necessária a criação de uma rosca nos respetivos furos, afixando assim o motor diretamente a este componente. Refere-se que o furo grande que se apresenta nesta face será necessário para que o motor seja corretamente posicionado neste componente ficando encostado ao mesmo.

Passando agora à fixação do último motor, responsável pela movimentação do regulador de passagem dos varões de corte, esta será conseguida com a utilização do componente que se apresenta na Figura 66. Como pode ser analisado, a parte traseira começa por ser semelhante ao componente anterior, com o furo grande para alinhamento do motor, e os quatro furos roscados para fixação deste.

No entanto, como a fixação deste suporte à estrutura da máquina terá de ser feita no perfil de alumínio que se encontra num nível inferior, a estrutura do suporte e a sua face oposta alteram-se completamente. Da mesma maneira, enquanto que no suporte anterior os furos utilizados foram todos de diâmetro semelhante ao diâmetro apresentado pelos furos do motor, neste caso, os furos de fixação ao perfil de alumínio são diferentes dos restantes apresentando um diâmetro específico para fazer esta fixação. Quanto às dimensões em específico destes componentes, os seus desenhos técnicos podem ser analisados no Anexo III permitindo um melhor entendimento destes componentes.

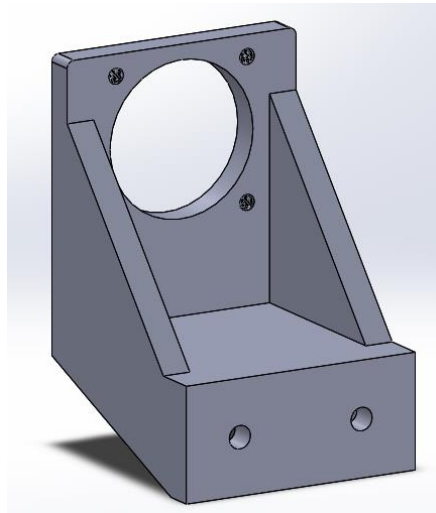


Figura 66 - Suporte do terceiro motor.

Quanto à conexão destes motores ao respetivo conversor de frequência, esta será bastante simples, como já se referiu, utilizando um cabo do tipo *Motion-Connect* que permite, ao mesmo tempo, a transmissão tanto de energia para o motor, como dos dados gerados pelo *encoder* do mesmo, não sendo necessário a utilização de mais nenhum componente para este feito.

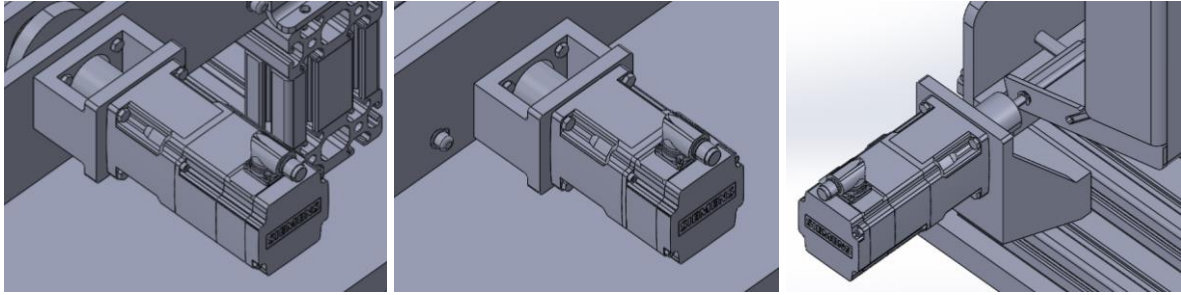


Figura 67 - Montagem final dos servomotores.

Direcionando agora o foco para o motor principal, será necessário também efetuar a sua integração na máquina, passando pelo posicionamento e fixação do mesmo e também pela transmissão de movimento ao sistema de atuação.

Começando pelo primeiro ponto mencionado, para posicionar o motor será necessário primeiro analisá-lo e determinar o seu método de fixação. Na Figura 68 pode observar-se este motor e, como se apresenta na sua parte inferior, este possui na sua base dois apoios furados que são utilizados para este efeito através do seu aparafusamento

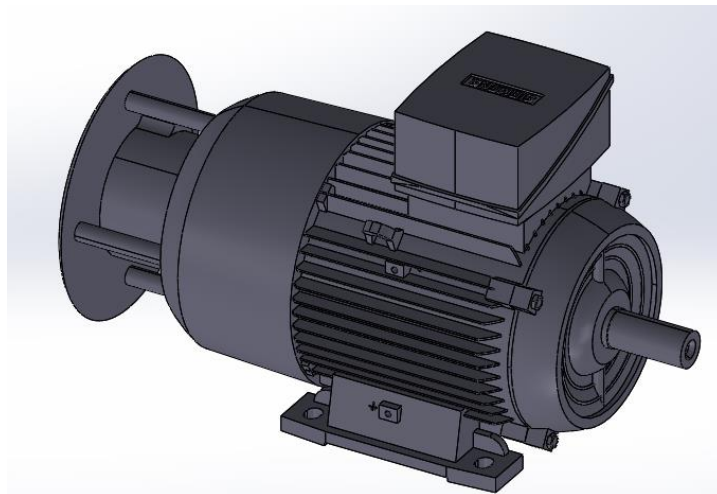


Figura 68 - Motor principal do sistema de atuação.

Dada o grande porte do motor e de forma a posicionar o motor no sítio correto, garantir o alinhamento com o mecanismo de atuação e efetuar a sua fixação optou-se por, ao invés de desenvolver um suporte específico ou outro tipo de solução, prolongar e aumentar a estrutura da máquina e fixar o motor diretamente a esta, garantindo assim, tanto que existe espaço suficiente para o motor, como que este pode ser ajustado longitudinalmente para garantir o seu alinhamento com o mecanismo de atuação, podendo esta solução observar-se na Figura 69.

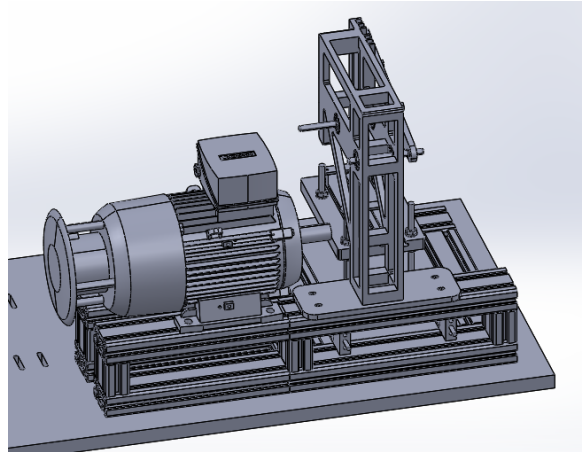


Figura 69 - Posicionamento e fixação do motor na estrutura da máquina.

Quanto à transmissão de movimento deste motor, dada a grande potência que terá de ser transmitida para efetuar o corte dos varões, a magnitude do motor e a relevância de se conseguir fazer esta atuação sem falhas nem hesitação e com firmeza, optou-se por fazer esta transmissão de movimento utilizando uma corrente de transmissão.

Esta proverá o mecanismo de robustez suficiente para que o corte seja efetuado corretamente e sem dificuldades, garantindo que mesmo o corte mais difícil é conseguido sem que este mecanismo seja afetado. Para além disso, permite que, caso ocorra algum tipo de dano a este sistema, a troca dos componentes seja efetuada com bastante facilidade dado que estes não apresentam um custo elevado, sendo deste modo um mecanismo de manutenção bastante fácil.

Apresenta-se na Figura 70 uma representação de um mecanismo deste tipo, sendo que para esta foi selecionada uma relação de transmissão de 2:1, o que faz com que o motor necessite de efetuar duas voltas para que o mecanismo complete apenas uma. Isto permite que, para obter a mesma velocidade de atuação, se possa correr o motor a velocidades mais altas, o que é benéfico pois faz com que este trabalhe mais perto da sua velocidade nominal, sendo capaz de produzir potência e torque mais elevados sendo submetido a um menor esforço.

Para além disso, este tipo de mecanismo de transmissão de movimento é bastante facilmente aplicado em veios chavetados, pelo que, sendo este o caso do mecanismo em estudo, facilita que estes sejam incluídos na máquina. Sendo a corrente e pinhões representados na Figura 70 meramente representativos, estes foram incluídos com o objetivo de se perceber mais facilmente este mecanismo e o seu funcionamento. Embora não tenha sido selecionado um produto nem fornecedores em concreto,

pois isto será mais facilmente conseguido aquando da construção da máquina, destaca-se um possível fornecedor capaz de providenciar os produtos necessários, sendo este a empresa portuguesa ROLISA.

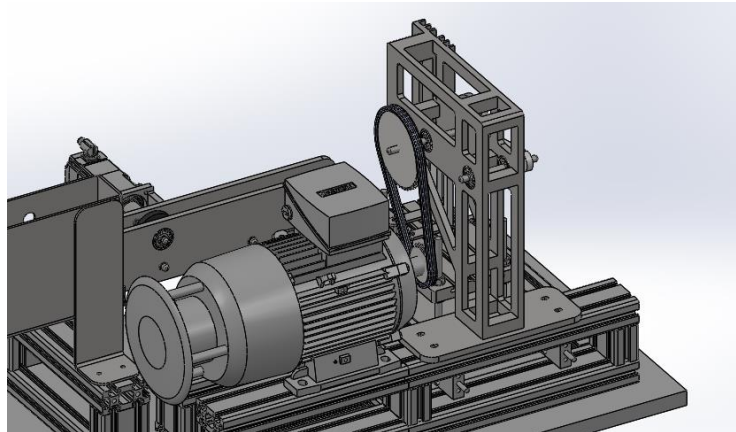


Figura 70 - Representação da transmissão de movimento do motor principal para o sistema de atuação.

5.5 Montagem dos Inversores de Corrente

Uma vez que todos os motores elétricos se encontrem devidamente posicionados e fixados na estrutura da máquina, o trabalho relacionado com estes ainda não se encontra finalizado pois estes ainda são incapazes de desempenhar a sua função pois não se encontram ainda conectados ao restante sistema.

Assim sendo, irá neste capítulo analisar-se a conexão dos motores aos respetivos controladores de frequência, bem como a conexão destes controladores à rede elétrica, e demais ligações que seja necessário efetuar para que estes funcionem corretamente.

Deste modo, começam então por analisar-se as conexões referentes ao motor do sistema de atuação e do respetivo controlador aos restantes componentes. Para este caso será necessário abordar três situações, sendo estas a conexão do motor ao controlador, a conexão do controlador à rede elétrica e a conexão do resistor de travagem a este controlador.

Felizmente, todas estas conexões são bastante fáceis de efetuar, dado que se está a utilizar o modelo mais simples deste controlador de frequência. Este possui no seu inferior, como visualizado na Figura 71, um conjunto de fichas, removíveis pressionando a alavanca que se vê a vermelho, que são utilizadas para efetuar estas conexões. Como se pode observar, a primeira destas corresponde à ligação à rede elétrica, que sendo trifásica irá necessitar de três linhas de corrente e uma linha de terra, sendo esta configuração semelhante no que toca à ligação ao motor. Quanto ao resistor de travagem, este é conectado apenas com dois cabos da maneira que se descreve também nesta figura.

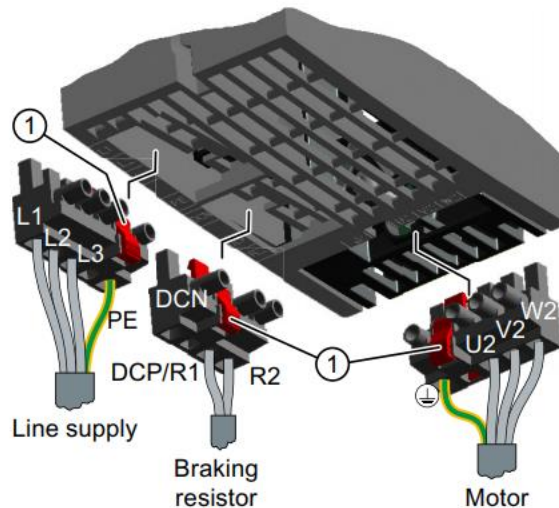


Figura 71 - Local de conexão do motor, cabo de alimentação e resistor de travagem. ⁵⁶

Completadas estas conexões, para que o motor passe a movimentar-se, resta apenas fazer a conexão dos respetivos cabos aos polos existentes no motor. Esta conexão pode ser efetuada de duas maneiras, sendo estas conexão em estrela ou conexão em triângulo, sendo que a maior diferença entre estas duas vertentes irá dizer respeito às características da corrente elétrica que o motor necessita para trabalhar.

Quando é utilizada a conexão em triângulo, o motor é operado com uma voltagem acima da sua voltagem nominal, o que gera uma maior potência, mas ao mesmo tempo também faz com que o conversor tenha de gerar uma voltagem mais alta, e que o motor possa sobreaquecer a velocidades mais baixas, sendo que por estes fatores decidiu-se que o mais benéfico será utilizar uma conexão em estrela.

⁵⁶

Estes dois tipos de conexão podem ser analisados na Figura 72, em que se vê, à esquerda, a conexão em estrela e à direita em triângulo, naquilo que serão os polos de conexão do motor, bem como o respetivo diagrama elétrico. Como pode verificar-se, existem 6 destes polos, sendo que os 3 superiores correspondem ao local onde serão conectados os cabos que vêm do conversor de frequência e os inferiores conduzem esta corrente elétrica para o motor. Uma vez que estas conexões estejam concluídas, é necessário unir estes polos da maneira que se verifica na Figura 72 para concluir definitivamente a conexão em estrela.

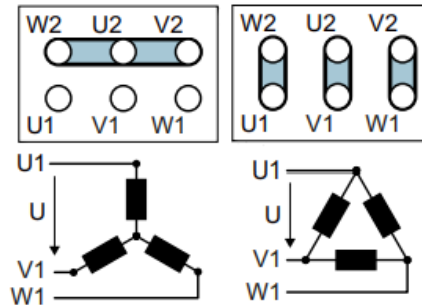


Figura 72 - Comparação da conexão estrela e conexão triângulo.

Até este momento, todas as conexões referidas foram efetuadas no módulo de alimentação de corrente pois todas foram relacionadas com a transmissão de corrente elétrica, no entanto, considerando agora as restantes conexões, tais como a conexão do *encoder* ao controlador, e deste ao *PLC*, estas serão realizadas na unidade de controlo e não no módulo de alimentação de corrente, pelo que é necessário proceder à sua montagem.

Mais uma vez, este processo será bastante simples dado que estes são componentes modulares que permitem um fácil encaixe e montagem dos mesmos, apresentando-se na Figura 73 uma representação do respetivo processo de montagem. Como pode ser visto, existem na fonte de alimentação de corrente duas ranhuras, apontadas pelas setas na primeira imagem, na qual encaixam dois pinos de apoio existentes na unidade de controlo, que permitem a rotação desta em torno destes pinos. Fazendo esta rotação, a parte superior da unidade de controlo irá de encontro à fonte de alimentação de corrente, onde irá encaixar, ficando assim esta montagem concluída.

Caso seja necessário a remoção da unidade de controlo, como pode ser visto pela terceira imagem da figura, basta clicar num botão que se encontra na parte superior, o que efetua o seu desencaixe permitindo assim que esta seja removida.



Figura 73 - Processo de montagem da unidade de controlo na fonte de alimentação de corrente.

Apresenta-se ainda na Figura 74 uma representação daquilo que será a montagem final destes componentes, permitindo perceber melhor o seu funcionamento.



Figura 74 - Montagem final do controlador de frequência SINAMICS G120.

Assim sendo, uma vez completa a montagem destes componentes, podem analisar-se as respetivas interfaces de entrada e saída de sinal, e verificar como serão conseguidas todas as conexões.

Na Figura 75 apresentam-se todas as interfaces presentes na unidade de controlo selecionada, encontrando-se estas na parte inferior da mesma. Começando pela interface identificada pelo código “-X2100”, esta será utilizada para efetuar a conexão do *encoder* que foi escolhido aquando da seleção do motor, sendo este conectado nesta porta.

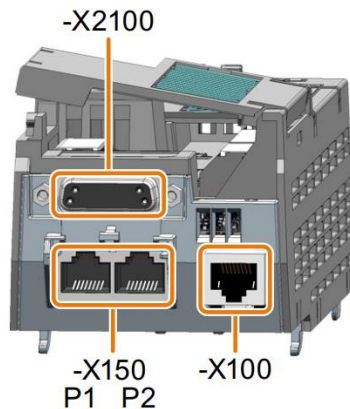


Figura 75 - Portas de conexão da unidade de controlo.

De modo análogo, a interface identificada pelo código “-X100” direciona-se para a conexão de um *encoder*. No entanto, o objetivo desta é facilitar a conexão à unidade de controlo através do uso de um componente intermediário que teria de ser adicionado, o que achou não se justificar, pelo que esta porta ficará sem uso.

Por último, apresentam-se duas portas identificadas pelo código “-X150”, sendo estas as portas *PROFINET* do controlador, que serão utilizadas para a sua inserção no âmbito do sistema da máquina, recebendo uma o sinal de controlo, e emitindo a segunda este mesmo sinal para o componente que se apresente de seguida.

Dá-se assim por terminada a montagem deste sistema, considerando que todos os componentes se encontram conectados, direcionando deste modo o foco para os controladores dos servomotores. Quanto a estes, embora já tenha sido referido o seu método de conexão, não se especificou como fazer o mesmo, pelo que terá de abordar-se este tema, bem como a sua ligação à corrente elétrica e restantes ligações que sejam necessárias.

Iniciando então este processo pela conexão do motor ao conversor, como foi mencionado anteriormente, será para isto utilizado um cabo específico do tipo *Motion-Connect*. A maior vantagem da utilização deste tipo de ligação passa por ser possível transmitir ao motor, ao mesmo tempo e apenas com este cabo de ligação rápida por encaixe, tanto a energia necessária para o seu movimento, como os dados gerados pelo *encoder* e ainda o sinal de ativação do travão de bloqueio.

De forma a melhor entender este funcionamento, apresenta-se na Figura 76 uma representação esquemática de um destes cabos. Focando no lado esquerdo da figura, pode observar-se uma ficha circular, sendo esta que permitirá a conexão simples por encaixe ao motor. Quanto ao lado direito que apresenta a outra extremidade deste cabo, podem observar-se um conjunto de outros pequenos cabos que irão transmitir os diferentes sinais ao motor.

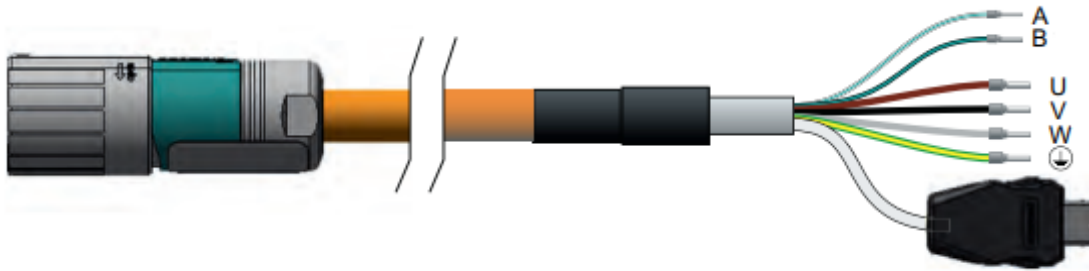


Figura 76 - Representação de um cabo Motion-Connect.⁵⁷

Começando pelos primeiros dois, demarcado pelas letras *A* e *B*, estes irão dizer respeito ao sinal enviado para ativação do travão de bloqueio. Seguindo, os cabos 4 cabos abaixo irão dizer respeito à conexão elétrica do motor, sendo estes que transmitem a energia necessária à sua movimentação. Por último apresenta-se um conector quadrangular sendo este responsável por transmitir o sinal emitido pelo *encoder* existente no motor elétrico.

Como foi referido, a conexão deste cabo ao motor será bastante simples e conseguida através de um encaixe, sendo para isto apenas necessário inserir o cabo no conector do motor na posição certa, e uma vez que este se encontre no fundo girá-lo cerca de 45°, ficando assim imobilizado e conectado no sítio certo. Apresenta-se na Figura 77 uma representação deste processo, permitindo percebê-lo mais detalhadamente.



Figura 77 - Processo de conexão do motor ao cabo Motion-Connect.⁵⁷

Tendo este cabo sido conectado ao motor, segue-se com a sua conexão ao controlador. De forma a facilitar isto, decidiu primeiro fazer-se uma análise às interfaces de comunicação presentes no mesmo,

ficando assim a conhecer os locais de conexão e o tipo de fichas que são utilizadas, apresentando-se isto na Figura 78, em conjunto com outras funcionalidades apresentada na frente deste componente.

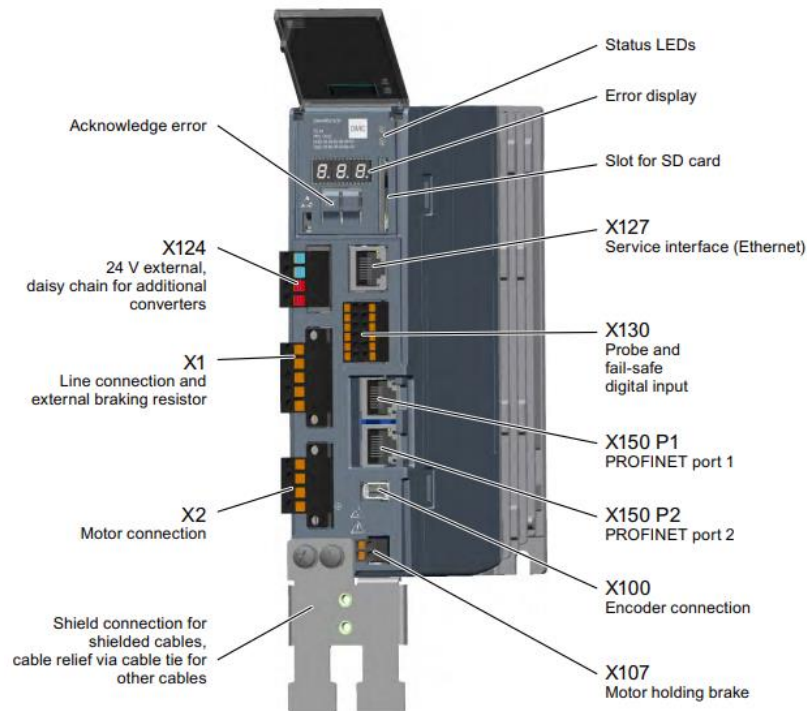


Figura 78 - Representação de todas as interfaces existentes no controlador S210. ³⁸

Assim sendo, como pode ser verificado, querendo fazer a ligação do travão de bloqueio, a conexão elétrica do motor, e a conexão do sinal emitido pelo *encoder*, irá utilizar-se as portas *X107*, *X2* e *X100* respetivamente.

Detalhando este processo, quanto à conexão do *encoder* esta será a mais simples, sendo apenas inserir o conector na respetiva porta, no entanto, quanto às restantes o processo será diferente. Embora não seja totalmente perceptível pela figura, as restantes portas são fornecidas com um conjunto de conectores que desencaixam do módulo de controlo, o que permite efetuar a conexão dos cabos provenientes do cabo *Motion-Connect* com bastante facilidade, sendo estes conectados na ordem que se apresentam na Figura 78 de cima para baixo, nos respetivos conectores.

Uma vez que se tenha o motor devidamente conectado a este controlador, pode então fazer-se a sua ligação à corrente elétrica. Voltando mais uma vez à Figura 78, pode verificar-se que é a porta *X1* que se direciona para esta função, sendo responsável por efetuar esta conexão, e ainda a conexão do controlador a um resistor de travagem, sendo que, dado que este não se irá utilizar, irá fazer com que algumas das entradas deste conector fiquem vazias. Deste modo, apresenta-se na Figura 79 a maneira como esta conexão terá de ser efetuada, referindo ainda a sua conexão terra à parte inferior do conversor.

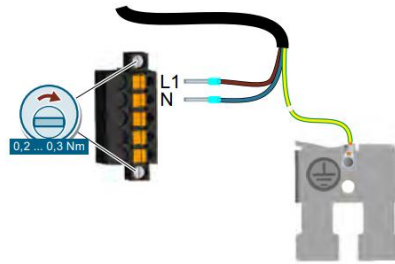


Figura 79 - Conexão do controlador à rede elétrica.

Posto isto, para o funcionamento deste módulo de controlo, resta apenas que se faça a conexão do mesmo à fonte de alimentação de 24 volts que servirá como fornecedor de corrente aos motores, sendo que para isto, como se pode verificar mais uma vez na Figura 78, será utilizada a porta *X124*. Para além disto, como foi mencionado anteriormente, será utilizada apenas uma fonte de alimentação para o conjunto dos três motores, sendo também aqui que se conseguirá esta funcionalidade.

Como é visualizado na Figura 80, existe um conjunto de quatro entradas, nas quais serão feitas duas ligações diferente. A primeira, identificada pelo número 1 diz respeito à corrente elétrica proveniente da fonte de alimentação, sendo conectada na primeira e na terceira entrada. Uma vez que esta conexão tenha sido concluída, irão utilizar-se a segunda e a quarta entradas para criar um circuito semelhante que irá conectar à primeira e terceira entradas do próximo controlador, fazendo assim chegar a corrente elétrica de 24 volts a este.

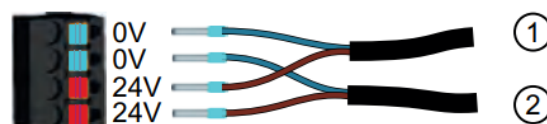


Figura 80 - Conexão da fonte de alimentação de 24V.

É necessário ainda, antes de prosseguir com a análise das restantes conexões do controlador *S210*, determinar como são efetuadas as ligações da fonte de alimentação de 24 volts, para perceber como esta corrente é introduzida no sistema.

Apresenta-se deste modo na Figura 81 um detalhe da estrutura desta fonte de alimentação, em que pode ver-se um conjunto de conectores de entrada e saída de corrente elétrica, sendo nestes que se fará as ligações deste componente. Começando pelos conectores superiores, estes irão receber a corrente elétrica nominal de 230 volts, fazendo a fonte de alimentação a sua transformação para corrente

elétrica de 24 volts, que é então emitida nos conectores inferiores, em que, como pode ser verificado, existe um par tanto de conectores positivos como de negativos. Selecionado um dos polos negativos e um dos polos positivos, pode então efetuar-se a conexão à porta *X124* do controlador do motor, terminando assim as conexões do mesmo.



Figura 81 - Entrada e saída de corrente elétrica da fonte de alimentação. ⁸⁸

Posto isto, resta apenas referir as portas identificadas pelo código *X150*, sendo estas as portas *PROFINET* que serão utilizadas para a conexão destes componentes ao sistema de controlo, de forma análoga ao que já foi referido anteriormente quando se detalhou o controlador *G120*, e a porta *X127*, que será utilizada para fazer a ligação deste controlador a um computador para fazer a configuração de todos os valores de funcionamento e alterações que sejam necessárias, sendo esta efetuada, tanto para este sistema como para o sistema *G120* através do *software SIEMENS Startdrive*, cujo foco é a configuração do funcionamento de motores e dos respetivos conversores de frequência.

5.6 Montagem dos Sensores

Terminada a montagem de todos os motores e todos os restantes componentes de controlo e eletrónicos, falta apenas abordar a instalação de um conjunto de componentes na máquina, os sensores de posição. Sendo estes os últimos componentes a ser conectados, foi criado no fim deste capítulo um diagrama de ligação englobando todos os componentes do sistema, que pode ser analisado no Anexo II.

Embora não tenha sido um tema aprofundado, a sua conexão ao PLC já foi falada num capítulo anterior, aquando da definição da instalação do conector específico dos módulos de entrada e saída de

sinal. Estes sensores terão de ser conectados a este módulo de entrada e saída de sinal, sendo esta conexão feita através deste conector específico

Para isto, direciona-se o foco para a montagem dos mesmos na estrutura da máquina, começando por localizar estes componentes nesta estrutura, de modo a perceber quais as possibilidades para fazer esta montagem.

Apresenta-se na Figura 82 a localização destes dois componentes, à esquerda o sensor responsável pelo controlo do mecanismo de alimentação de varões de corte, e à direita o sensor responsável por detetar o momento em que é necessário introduzir um novo varão de corte no sistema, tendo uma das paredes da calha de desliza sido transparentada. Embora estes já se apresentem montados, é necessário analisar o que levou a esta montagem

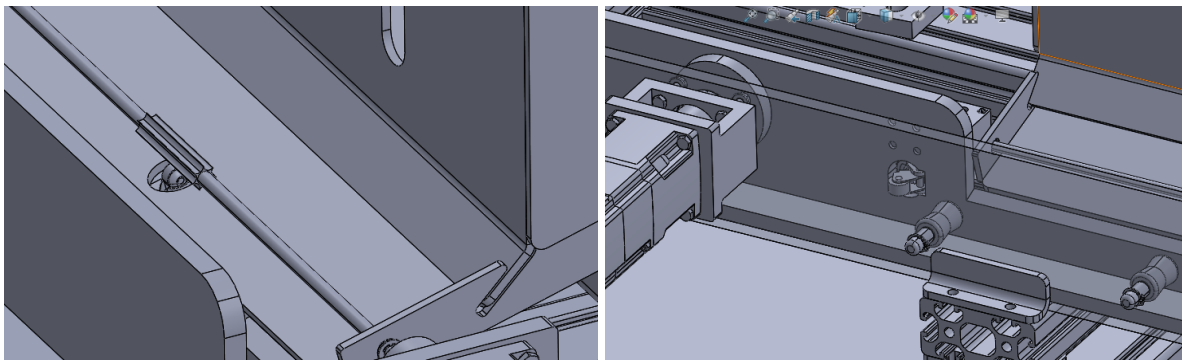


Figura 82 - Localização de ambos os sensores de posição.

Analisando ambos os sensores, pode verificar-se que em ambas as situações é possível que estes sejam montados diretamente na estrutura da máquina, procedendo-se então com este trabalho. Para isto, é necessário analisar o mecanismo de montagem dos sensores, para determinar qual o melhor plano de ação. Sendo os dois sensores exatamente iguais, alterando apenas o atuador dos mesmos, apresenta-se na Figura 83 este mecanismo de fixação, que irá estar presente em ambos os sensores.

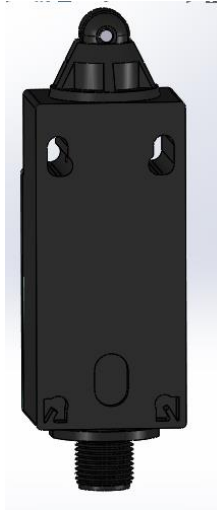


Figura 83 - Mecanismo de fixação do sensor.

Pela análise da Figura 83 pode então determinar-se que a fixação destes será efetuada através do aparafusamento dos mesmos pelos dois furos que se podem ver na sua zona superior. Considerando então que ambos os sensores terão de ser aparafusados e que se encontram perpendiculares à superfície na qual serão fixados, torna-se necessário desenhar um suporte que permita esta fixação.

Para o desenvolvimento deste começa por definir-se que para além de permitir o aparafusamento dos sensores, terá de permitir também o seu aparafusamento à estrutura da máquina, sendo este o método selecionado para a sua fixação. Para além disto, não será possível utilizar o mesmo suporte para a fixação dos dois sensores devido aos diferentes atuadores que estes apresentam e as diferentes características da área em que serão inseridos.

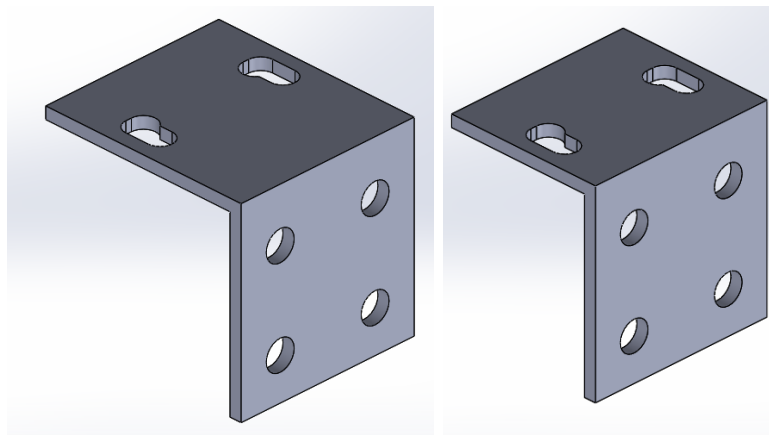


Figura 84 - Modelação 3D de ambos os suportes de sensores.

Apresentam-se assim ambos os suportes na Figura 84, à esquerda o suporte do sensor responsável pelo controlo do mecanismo de alimentação de varões de corte e à direita o suporte do

sensor responsável por detetar o momento em que é necessário introduzir um novo varão de corte no sistema, cujas dimensões podem ser verificadas nos desenhos técnicos presentes no Anexo III.

5.7 Extração e Tratamento dos Dados Recolhidos

Como foi mencionado anteriormente, a medição e registo dos valores de força de corte gerados durante o teste será feita pelo trabalho conjunto do sistema de medição de carga e do sistema de controlo. Este primeiro será responsável pela medição do valor de força gerado, que será de seguida transmitido ao sistema de controlo fazendo este o seu registo.

Esta função, denominada de “*trace*” no software de programação do sistema de controlo pode ser implementada em qualquer programa que se desenvolva, sendo capaz de registar qualquer dado que circule no sistema durante o funcionamento do programa, como é o exemplo do valor da carga medida, sendo quais os dados a registar seleccionados pelo utilizador.

Para além disso, é possível a alteração de um outro vasto loque de funções, tais como a frequência de registo destes valores, que será bastante importante neste caso, dado que se pretende que a medição seja feita com elevada resolução, permitindo verificar todos os detalhes daquilo que ocorreu ao longo do ciclo de corte, ou também a definição de um certo acontecimento como acionador do processo de registo.

Estes registos serão iniciados e parados quando o utilizador assim definir, sendo armazenados no cartão de memória e podendo ser analisados através da conexão do sistema de controlo a um computador, momento em que podem ser também transferidos e assim registados permanentemente.

Este registo permanente dos dados no computador irá gerar, tipicamente, um ficheiro do tipo “.csv”, que consiste de forma geral, numa lista de valores separados por virgulas. Este ficheiro irá possibilitar que a leitura destes dados seja efetuada com o *software Microsoft Excel* ou outro software de funcionalidades semelhantes, o que permite que estes dados comecem a ser tratados e organizados.

Numa primeira instância, estes irão estar organizados apenas por ordem do momento de registo, pelo que não será possível distinguir os dados de cada uma das operações de corte, sendo tudo apenas uma amalgama de valores. Assim sendo, o primeiro passo será efetuar a separação dos mesmos, eliminando os dados que revelem corresponder ao momento entre operações de corte, e fazendo assim a sua separação mediante as diversas operações de corte, o que uma vez conseguido irá permitir o tratamento dos mesmos.

Possuindo assim os dados relativamente ordenados, torna-se necessário definir como estes serão analisados e qual a variável que se pretende analisar e levar em conta para obter o resultado final deste

teste. Isto é, mediante o desejo do utilizador são várias as variáveis que podem ser analisadas, entre estas o valor máximo de força de corte, o respetivo valor médio, ou outra combinação que seja desejada.

E assim sendo, uma vez que se possua estes valores, respetivos a cada um dos ciclos e devidamente organizados, podem expor-se os mesmos sobre a forma de um gráfico ou outra ferramenta de visualização, que permita, de forma rápida e concisa a análise destes resultados e a chegada a conclusões relevantes.

Podem ainda obter-se resultados sobre a forma de outras modalidades tais como, o número de corte efetuados até atingir um determinado valor de força, podendo este valor ser definido, ou não, como uma percentagem do primeiro registo. Por outras palavras, algo como ao fim quantos cortes a tesoura perde 35% da sua performance, por exemplo, ou ainda, da uma maneira semelhante, fazer-se o cálculo de qual a percentagem de performance que a tesoura perde ao fim do total de cortes efetuados, sendo um exemplo disto, ao fim de 10000 cortes, a performance da tesoura um reduziu para 35% do original, enquanto que a tesoura 2 apenas perdeu 30% da performance original, concluindo assim que a segunda tesoura é mais eficiente.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Dando assim por terminada a exposição do trabalho realizado, realizar-se-á então um balanço final do mesmo, sintetizando de maneira geral os objetivos atingidos e sugerindo um conjunto de metas futuras a ser impostas para a evolução e melhoria do projeto

O objetivo de partida deste projeto foi a idealização e desenvolvimento de uma máquina autónoma capaz de testar tesouras agrícolas, avaliando a evolução do seu desempenho ao longo de um número definido de operações de corte.

Embora o desenvolvimento de um equipamento deste tipo tenha partida da necessidade da empresa *Serafim Fertuzinhos S.A.* testar as tesouras produzidas, desde cedo se pode concluir que este equipamento seria não só bastante vantajoso para esta empresa, mas para toda a área industrial em que esta insere, existindo a oportunidade de criar um sistema normalizado de comparação do desempenho de tesouras agrícolas, que não existe de momento.

Partiu-se assim para este desenvolvimento, sendo o primeiro passo executado para isto, uma análise às alternativas existentes no mercado, de forma a tentar obter um melhor entendimento de um possível funcionamento da máquina. Em conjunto com isto, foram analisadas as variáveis influentes do processo de corte que teriam de ser simuladas, destacando-se destas a força de corte e as dimensões das tesouras, bem como uma lista detalhada de todas as funções a desempenhar pela máquina, o que permitiu partir para o desenvolvimento da mesma possuindo uma base fundamentada de conhecimentos.

Este desenvolvimento iniciou-se então pelo projeto mecânico da máquina, onde foi criado o primeiro conceito da máquina e do seu funcionamento, que após evolução resultou no projeto mecânico final da mesma. Esta otimização do conceito inicial passou pelo aprimoramento dos mecanismos de funcionamento da máquina, pela melhoria da sua estrutura, dimensionamento de componentes, e preparação para o seu fabrico, garantindo sempre a conformidade e capacidade de resposta às funções apresentadas anteriormente.

Uma vez concluído projeto mecânico, pôde finalmente abordar-se aquilo que é o foco principal deste trabalho, o projeto mecatrónico, onde foram desenvolvidas soluções para que cada um dos sistemas da máquina funcionasse em concordância com o requerido, que esta correspondesse a todas as suas funções e que fosse capaz de trabalhar em segurança, detetando erros de funcionamento e agindo em conformidade com os mesmos.

Tentou-se que as soluções desenvolvidas para este efeito fossem o mais simples possíveis, tanto a nível de operação, como de complexidade de aplicação, de modo a simplificar assim o funcionamento da máquina, e permitir uma fácil construção e manutenção da mesma, não comprometendo nem a capacidade de obter resultados, nem a qualidade dos mesmos.

Foram, para este efeito, selecionados todos os componentes necessários para que a máquina fosse capaz de desempenhar todas estas funções, sendo um dos resultados obtidos mais relevantes e que permite obter uma compreensão do seu funcionamento, a lista de componentes que se apresenta na Tabela 12, e que pode ser observada em detalhe no Anexo I.

Tendo sido o trabalho aqui desenvolvido focado no projeto da máquina, de modo a dar continuidade ao mesmo, numa primeira fase este deverá focar-se na construção da mesma. Esta tarefa será bastante importante, uma vez que será responsável por validar o projeto desenvolvido previamente e confirmar o funcionamento da máquina.

Esta construção terá de ser acompanhada pela criação de planos e manuais de montagem que englobem todos os sistemas e componentes da máquina, para que posteriormente este processo seja simplificado quando for necessária a construção de uma nova máquina. Para além disso, será necessária a criação de um manual de manutenção e funcionamento para que a posterior utilização da máquina por parte da empresa ou de clientes da mesma seja descomplicada e que se evite a ocorrência de falhas ou danos por má utilização.

Uma vez terminada a sua construção, a utilização da mesma irá realçar pequenos detalhes que necessitem de ser aprimorados, sendo numa fase inicial o foco direcionado para a melhoria destes, criando-se assim um processo de melhoria contínua que permita atingir um funcionamento ideal da máquina.

Quando este funcionamento for atingido, pode então iniciar-se um processo de inclusão de novas funções na máquina, destacando-se desde já o aumento da adaptabilidade da mesma, provendo-a de capacidade para testar um maior leque de objetos, tais como tesouras de duas mãos. Isto poderá ser conseguido através do desenvolvimento de módulos de encaixe na máquina que, sem alterar o funcionamento da mesma, permitam a fixação de diferentes componentes.

Outra função bastante importante que terá de ser efetuada após a construção da máquina será a correção de falhas de funcionamento que ocorrerão durante o seu funcionamento. Não sendo estas previstas durante a fase de projeto, apenas o funcionamento contínuo da máquina as revelará, pelo que terão de tomar-se medidas posteriormente para a sua correção.

Tabela 12 – Lista completa de componentes.

Nº de componente	Descrição	Número do Artigo	Quantidade
1.1	Célula de Carga - Siwarex WP 260 SP-S SB (versão 60kg)	7MH5117-2QD00	3
1.2	Caixa de junção de sinal - Siwarex JB	7MH5001-0AA20	1
1.3	Cabo de conexão Siwarex JB ao Módulo de pesagem	7MH4702-8AG	1
1.4	Módulo de Pesagem Siwarex WP 521 ST	7MH4980-1AA01	1
1.5	Conector Siwarex WP 521 ST ao PLC	6ES7592-1BM00-0XB0	1
1.6	Cabo de ligação Siwarex WP 521 ST a computador	6XV1850-2GH20	1
2.1	SIMATIC CPU 1515-2 PN	6ES7515-2AM02-0AB0	1
2.2	Cartão de memória SIMATIC 2GB	6ES7954-8LP02-0AA0	1
2.3	Módulo de 16 Inputs/16 Outputs digitais	6ES7523-1BL00-0AA0	1
2.4	Power Supply 24V SIMATIC PM1507	6EP1333-4BA00	1
2.5	Rail de montagem do sistema SIMATIC 480mm	6ES7590-1AE80-0AA0	1
2.6	Conector PROFINET	6GK1901-1BB10-2AA0	10
2.7	Cabo PROFINET	6XV1840-2AH10	1
3.1	Motor SIMOTICS VSD10 2.2kW 400V 50HZ	1LE1092-1AB42-1AK4-Z G04	1
3.2	Unidade de Controlo CU250S-2 PN p/ Inversor de Frequência SINAMICS G120	6SL3246-0BA22-1FA0	1
3.3	Power Module PM240-2 3kW p/ SINAMICS G120	6SL3210-1PE18-0AL1	1
3.4	Resistor de Travagem p/ SINAMICS G120	6SL3201-0BE21-0AA0	1
3.5	Cabo de ligação SINAMICS G120 a computador	6SL3255-0AA00-2CA0	1
4.1	Servomotor SIMOTICS 1FK2 CT c/ travão	1FK2203-2AG10-1MA0	2
4.2	Servomotor SIMOTICS 1FK2 CT sem travão	1FK2203-2AG00-1MA0	1
4.3	Servo Conversor SINAMICS S210	6SL3210-5HB10-2UF0	3
4.4	Cabo OCC <i>Motion Connect 500</i> p/ conexão dos servomotores aos conversores	6FX5002-8QN04-1BA0	3
4.5	Sensor de posição SIRIUS 3SE5 p/ controlo da alimentação	3SE5234-OLD03-1AE2	1
4.6	Sensor de posição SIRIUS 3SE5 p/ controlo da alimentação 2	3SE5234-OLE11-1AE2	1
4.7	Cabo de ligação sensor a PLC	3SX5601-3SV15	2
4.8	SITOP PSU100L 24V/5A	6EP1333-1LB00	1

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Serafim Fertuzinhos S.A. Catalogo Carpa Tools. Published 2020. Accessed September 30, 2020. https://carpatools.1kcloud.com/edlv_TmmnB/#6
2. Zwick/Roell. Static Materials Testing Machines. Published 2020. Accessed October 2, 2020. <https://www.zwickroell.com/en/static-materials-testing-machine>
3. Joana Mendes, Ana Azevedo, Teresa F. Amaral. Força de prensão da mão: quantificação, determinantes e utilidade clínica. *Arq Med.* 2013;27(3). Accessed September 21, 2020. http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-34132013000300003
4. Tomás MT, Fernandes B. Força de prensão – Análise de concordância entre dois dinamómetros: JAMAR vs E-Link. Published online May 2012. Accessed September 24, 2020. https://www.researchgate.net/publication/233985846_Forca_de_prensao_-_Analise_de_concordancia_entre_dois_dinamometros_JAMAR_vs_E-Link
5. Márcio Ferreira do Nascimento, Raphael Benassi, Felipe Duarte Caboclo, Ana Carolina dos Santos Salvador, Luis Carlos Oliveira Gonçalves. Valores de referência de força de prensão manual em ambos os gêneros e diferentes grupos etários. Um estudo de revisão. *EFDeportes.* 2010;15(151). Accessed September 23, 2020. <https://www.efdeportes.com/efd151/forca-de-prensao-manual-em-ambos-os-generos.htm>
6. Mohammadian M, Choobineh A, Haghdoost A. Normative Data of Grip and Pinch Strengths in Healthy Adults of Iranian Population. *Artic Iran J Public Heal.* Published online May 2014. Accessed September 24, 2020. https://www.researchgate.net/profile/Alireza_Choobineh/publication/275666848_Normative_Data_of_Grip_and_Pinch_Strengths_in_Healthy_Adults_of_Iranian_Population/links/5587655e08aeb0cdade0babd/Normative-Data-of-Grip-and-Pinch-Strengths-in-Healthy-Adults-of-
7. Hrytchyna H. Secateurs. Published 2020. Accessed October 14, 2020. https://www.123rf.com/photo_141096669_stock-vector-secateurs-a-tool-for-working-in-the-garden-a-vector-linear-picture-for-coloring-garden-shears-for.html
8. Pinho Lisa - Leroy Merlin. Published 2020. Accessed October 19, 2020. https://www.leroymerlin.pt/Produtos/Madeiras/Ripas/WPR_REF_16909900
9. Faia Lisa - Leroy Merlin. Published 2020. Accessed October 19, 2020. https://www.leroymerlin.pt/Produtos/Madeiras/Ripas/WPR_REF_14131103

10. Faia/Samba - Leroy Merlin. Published 2020. Accessed October 19, 2020. https://www.leroymerlin.pt/Produtos/Madeiras/Ripas/WPR_REF_82175193
11. Omega. Load Cells & Force Sensors. Published 2020. Accessed November 11, 2020. <https://www.omega.com/en-us/resources/load-cells>
12. Central Carolina Scale. Load Cells - Hydraulic. Published 2020. Accessed November 11, 2020. <https://www.centralcarolinascalse.com/hydraulic-load-cells-overview.htm>
13. Instrumentation Tools. Hydraulic Load Cell. Published 2020. Accessed November 11, 2020. <https://cdn.instrumentationtools.com/wp-content/uploads/2018/04/Hydraulic-Load-Cell-Principle-720x424.jpg>
14. Instrumentation Tools. Pneumatic Load Cell Principle. Published 2020. Accessed November 11, 2020. <https://instrumentationtools.com/pneumatic-load-cell-principle/>
15. Instrumentation Today. Pneumatic Load Cell. Published 2020. Accessed November 11, 2020. https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/3/8/2/Pneumatic-Load-Cell.jpg
16. Omega. Introduction to Strain Gauges. Published 2020. Accessed November 16, 2020. <https://www.omega.co.uk/prodinfo/StrainGauges.html>
17. Nachazel T. What is a Strain Gauge and How Does it Work? Published August 2020. Accessed November 16, 2020. <https://www.michsci.com/what-is-a-strain-gauge/>
18. Siemens. Load Cells. Published 2020. Accessed November 20, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/weight-measurement/load-cells.html>
19. Siemens. SIWAREX Weighing Electronics. Published 2020. Accessed November 22, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/weight-measurement/weighing-electronics-simatic.html>
20. Siemens. SIWAREX WL200 Operating Instructions. Published online 2020. Accessed November 20, 2020. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/485/109779485/att_1020117/v1/A5E02199611B-11en_WL200_OI_en-US.pdf
21. Siemens. SIWAREX JB Junction Box. Published 2020. Accessed November 22, 2020. <https://new.siemens.com/us/en/products/automation/process-instrumentation/weight-measurement/load-cells/junction-box-siwarex-jb.html>
22. Siemens. SIWAREX WP521 ST/522 ST. Published 2020. Accessed November 23, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/weight-measurement/load-cells/weight-measurement-wp521-st-522-st.html>

- instrumentation/weight-measurement/weighing-electronics-simatic/weighing-module-siwarex-wp521-st-wp522-st.html
23. Siemens. SIWAREX SIWATOOL. Published 2020. Accessed November 23, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/weight-measurement/software/siwatool.html>
 24. Tomasnet. Complete Guide to Actuators. Published 2020. Accessed November 25, 2020. <https://www.thomasnet.com/articles/pumps-valves-accessories/types-of-actuators/>
 25. WPC. Hydraulic Actuators. Published 2020. Accessed November 25, 2020. <https://www.wpc.com.au/actuation-controls/hydraulic-actuators>
 26. Instrumentation Tools. What is a Hydraulic Actuator ? Published 2020. Accessed November 26, 2020. <https://instrumentationtools.com/what-is-a-hydraulic-actuator/>
 27. Machine Design. What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators? Published 2020. Accessed November 26, 2020. <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/linear-motion/article/21832047/whats-the-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators>
 28. Vcomp Inc. What are Single Acting & Double Acting Hydraulic Cylinders. Published December 2017. Accessed November 26, 2020. <https://medium.com/@vcompmississauga/what-are-single-acting-double-acting-hydraulic-cylinders-817d6e6f30a8>
 29. Tech FAQ. What is a Pneumatic Actuator? Published 2020. Accessed November 27, 2020. <https://www.tech-faq.com/what-is-a-pneumatic-actuator.html>
 30. Norgren. What is an Electric Motor? Published 2020. Accessed November 28, 2020. <https://www.norgren.com/uk/en/expertise/industrial-automation/what-is-an-electric-motor>
 31. Siemens. SIMOTICS Electric Motors. Published 2020. Accessed December 1, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors.html>
 32. Siemens. SIMOTICS Low-Voltage Electric Motors. Published 2020. Accessed December 1, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/low-voltage-motors.html>
 33. Siemens. *Catalog D 81.1*; 2020. Accessed December 2, 2020. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/197/109749197/att_1026989/v1/Motors-D81.1-complete-English-06-2020.pdf
 34. Siemens. Drive Technology Configurator. Published 2020. Accessed December 2, 2020.

- <https://mall.industry.siemens.com/spice/jom/jom/>
35. Siemens. SIMOTICS General Purpose Motors. Published 2020. Accessed December 1, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10139508?tree=CatalogTree>
 36. Siemens. Product Details SINAMICS G120. Published 2020. Accessed December 2, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/?mlfb=6SL3246-0BA22-1FA0>
 37. Siemens. Motion Control Motors. Published 2020. Accessed December 6, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/motion-control-motors.html>
 38. Siemens. SINAMICS S210. Published 2020. Accessed December 6, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/low-voltage-converters/servo-converter/sinamics-s210.html>
 39. Siemens. Catalog D32. Published 2020. Accessed December 7, 2020. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/381/109754381/att_1010197/v1/motion-control-drives-D32-complete-English-2020-01.pdf
 40. Siemens. SIRIUS Industrial controls. Published 2020. Accessed December 8, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-controls/sirius.html>
 41. Siemens. Position and Safety Switches. Published 2020. Accessed December 8, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-controls/sirius/sirius-command/position-safety-switches.html>
 42. Siemens. Product Details - Sirius Sensor. Published 2020. Accessed December 7, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/3SE5234-0LD03-1AE2>
 43. Siemens. Product Details - Sirius Cable. Published 2020. Accessed December 8, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/3SX5601-3SV15>
 44. Control Systems & Automation. PLC Programming Basics. Published 2020. Accessed December 9, 2020. <https://www.controlsystemsandautomation.com/learn/plc/plc-programming-basics-i/>
 45. Siemens. SIMATIC S7-1500. Published 2020. Accessed December 11, 2020. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>
 46. Siemens. Catalog ST70. Published 2020. Accessed December 11, 2020.

- https://cache.industry.siemens.com/dl/files/167/109744167/att_1023435/v1/simatic-st70-complete-english-2019.pdf
47. Techopedia. What is a Communication Protocol? Published 2020. Accessed December 13, 2020. <https://www.techopedia.com/definition/25705/communication-protocol>
 48. SWISSNS. The Various Types of Network Topologies. Published 2020. Accessed December 14, 2020. <https://www.swissns.ch/site/2017/06/the-various-types-of-network-topologies/>
 49. Siemens. SIMATIC PROFINET with STEP 7. Published 2020. Accessed December 14, 2020. <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/49948856?c=102305179275&lc=en-LS>
 50. Siemens. Product Details - Profinet Cable. Published 2020. Accessed December 14, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/pt/Catalog/Product/6XV1840-2AH10>
 51. Siemens. Product Details - Profinet Connector. Published 2020. Accessed December 14, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/pt/Catalog/Product/6GK1901-1BB10-2AA0>
 52. Siemens. S7-1500 System Manual. Published 2020. Accessed December 16, 2020. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/792/59191792/att_895925/v1/s71500_et200mp_system_manual_en-US_en-US.pdf
 53. Siemens. Product Details - Simatic Rail. Published 2020. Accessed December 14, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/?mlfb=6ES7590-1AC40-0AA0>
 54. Siemens. Product Details - Simatic U-connector. Published 2020. Accessed December 16, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7590-0AA00-0AA0>
 55. Morais JM de S. *Desenho Técnico Básico*. 26th ed. Porto Editora; 2015.
 56. Siemens. Sinamics G120 Operation Instructions. Published 2020. Accessed December 16, 2020. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/994/109782994/att_1036709/v1/G120_CU250S2_op_instr_1020_en-US.pdf
 57. Siemens. Sinamics S210 System Operating Instructions. Published 2020. Accessed December 16, 2020. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/874/109781874/att_1031957/v1/S210_1FK2_op_instr_en-US.pdf
 58. Siemens. SITOP PSU100L 24 V/5 A Product Details. Published 2020. Accessed December

19, 2020. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6EP1333-1LB00>

ANEXO I – LISTA DE COMPONENTES DETALHADA

1. Sistema de Medição de Carga

Componente Nº1.1 – Célula de Carga - Siwax WP 260 SP-S SB (versão 60kg)

Página do componente: <https://sie.ag/3fVqFc6>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3fRFaxB>

Disponível no catálogo: SIEMENS WT10 (<https://sie.ag/2XZVxIL>)

Número do Artigo: 7MH5117-2QD00

Quantidade: 3 unidades

Componente Nº1.2 – Caixa de junção de sinal - Siwax JB

Página do componente: <https://sie.ag/3iDLEly>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2PPUH6B>

Disponível no catálogo: SIEMENS WT10 (<https://sie.ag/2XZVxIL>)

Número do Artigo: 7MH5001-0AA20

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº1.3 – Cabo de conexão Siwax JB ao Módulo de pesagem

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2PMlvEQ>

Disponível no catálogo: SIEMENS WT10 (<https://sie.ag/2XZVxIL>)

Número do Artigo: 7MH4702-8AG

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº1.4 – Módulo de Pesagem Siwax WP 521 ST

Página do Produto: <https://sie.ag/2POtnFT>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3iPH3x1>

Disponível no catálogo: SIEMENS WT10 (<https://sie.ag/2XZVxIL>)

Número do Artigo: 7MH4980-1AA01

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº1.5 – Conector Siwarex WP 521 ST ao PLC

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/30Zzei8>

Disponível no catálogo: SIEMENS WT10 (<https://sie.ag/2XZVxIL>)

Número do Artigo: [6ES7592-1BM00-0XB0](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº1.6 – Cabo de ligação Siwarex WP 521 ST a computador (para configuração)

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2Y2szlp>

Disponível no catálogo: SIEMENS WT10 (<https://sie.ag/2XZVxIL>)

Número do Artigo: [6XV1850-2GH20](#)

Quantidade: 1 unidade

2. PLC SIMATIC S7-1500 e Respetivos Componentes

Componente Nº2.1 – SIMATIC CPU 1515-2 PN

Página do Produto: <https://sie.ag/3iHt0t8>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2Y6ngkN>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkvl>)

Número do Artigo: [6ES7515-2AM02-0AB0](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº2.2 – Cartão de memória SIMATIC 2GB para armazenamento de dados

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/30Yyfq1>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkvl>)

Número do Artigo: [6ES7954-8LP02-0AA0](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº2.3 – Módulo de 16 Inputs/16 Outputs digitais

Página do Produto: <https://sie.ag/2DVtf57>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3aztfnd>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkv>)

Número do Artigo: [6ES7523-1BL00-0AA0](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente N°2.4 – Power Supply 24V SIMATIC PM1507

Página do Produto: <https://sie.ag/2DVtf57>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3h0e6hd>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkv>)

Número do Artigo: [6EP1333-4BA00](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente N°2.5 – Rail de montagem do sistema SIMATIC 245mm

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/339r6LN>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkv>)

Número do Artigo: [6ES7590-1AC40-0AA0](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente N°2.6 – Conector PROFINET

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/32cXywq>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkv>)

Número do Artigo: [6GK1901-1BB10-2AA0](#)

Quantidade: 10 unidade

Componente N°2.7 – Cabo PROFINET

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3hiwylu>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkv>)

Número do Artigo: [6XV1840-2AH10](#)

Quantidade: 1 unidade

3. Sistema de Atuação

Componente N°3.1 – Motor SIMOTICS VSD10 2.2kW 400V 50HZ (c/ *encoder* incremental)

Página do Produto: <https://sie.ag/3iJa0KH>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2FpwFxi>

Disponível no catálogo: SIEMENS D81.1 (<https://sie.ag/2PXib9S>)

Número do Artigo: [1LE1092-1AB42-1AK4-Z G04](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente N°3.2 – Unidade de Controlo CU250S-2 PN p/ Inversor de Frequência SINAMICS

G120

Página do Produto: <https://sie.ag/3g1Sek4>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2PWr17S>

Disponível no catálogo: SIEMENS D31.1 (<https://sie.ag/31TZnOt>)

Número do Artigo: [6SL3246-0BA22-1FA0](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente N°3.3 – Power Module PM240-2 3kW p/ SINAMICS G120

Página do Produto: <https://sie.ag/3g1Sek4>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2PTk0of>

Disponível no catálogo: SIEMENS D31.1 (<https://sie.ag/31TZnOt>)

Número do Artigo: [6SL3210-1PE18-0AL1](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente N°3.4 – Resistor de Travagem p/ SINAMICS G120

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/30Z6WEf>

Disponível no catálogo: SIEMENS D31.1 (<https://sie.ag/31TZnOt>)

Número do Artigo: [6SL3201-0BE21-0AA0](#)

Quantidade: 1 unidade

Componente N°3.5 – Cabo de ligação SINAMICS G120 a computador (para configuração)

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/31W9Mcl>

Disponível no catálogo: SIEMENS D31.1 (<https://sie.ag/31TZnOt>)

Número do Artigo: [6SL3255-0AA00-2CA0](#)

Quantidade: 1 unidade

4. Sistema de Alimentação e Atuação

Componente Nº4.1 – Servomotor SIMOTICS 1FK2 CT c/ travão

Página do Produto: <https://sie.ag/30X9J0Q>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2Y24Ly4>

Disponível no catálogo: SIEMENS D32 (<https://sie.ag/3h2hlz5>)

Número do Artigo: 1FK2203-2AG10-1MA0

Quantidade: 2 unidade

Componente Nº4.2 – Servomotor SIMOTICS 1FK2 CT sem travão

Página do Produto: <https://sie.ag/30X9J0Q>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2EOZIXn>

Disponível no catálogo: SIEMENS D32 (<https://sie.ag/3h2hlz5>)

Número do Artigo: 1FK2203-2AG00-1MA0

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº4.3 – Servo Conversor SINAMICS S210

Página do Produto: <https://sie.ag/30X9J0Q>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3fUWvpy>

Disponível no catálogo: SIEMENS D32 (<https://sie.ag/3h2hlz5>)

Número do Artigo: 6SL3210-5HB10-2UF0

Quantidade: 3 unidade

Componente Nº4.4 – Cabo OCC *Motion Connect 500* p/ conexão dos servomotores aos conversores

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/344nkFI>

Disponível no catálogo: SIEMENS D32 (<https://sie.ag/3h2hlz5>)

Número do Artigo: 6FX5002-8QN04-1BA0

Quantidade: 3 unidade

Componente Nº4.5– Sensor de posição SIRIUS 3SE5 p/ controlo da alimentação

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3iNJgcf>

Disponível no catálogo: SIEMENS IC 10 (<https://sie.ag/3g1L1Au>)

Número do Artigo: 3SE5234-OLD03-1AE2

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº 4.6 – Sensor de posição SIRIUS 3SE5 p/ controlo da alimentação 2

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/2R2Kx39>

Disponível no catálogo: SIEMENS IC 10 (<https://sie.ag/3g1L1Au>)

Número do Artigo: 3SE5234-OLE11-1AE2

Quantidade: 1 unidade

Componente Nº 4.7 – Cabo de ligação sensor a PLC

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/342zrTv>

Disponível no catálogo: SIEMENS IC 10 (<https://sie.ag/3g1L1Au>)

Número do Artigo: 3SX5601-3SV15

Quantidade: 2 unidades

Componente Nº 4.8 – SITOP PSU100L 24V/5A

Página do Produto: <https://sie.ag/3hb28IH>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3ayNVh3>

Disponível no catálogo: SIEMENS KT 10.1 (<https://sie.ag/3ham4oH>)

Número do Artigo: 6EP1333-1LB00

Quantidade: 1 unidade

5. Outros Produtos

Siwatool - Software configuração do módulo de pesagem

Página do Produto: <https://sie.ag/2E3qvIS>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3iNTngT>

Disponível no catálogo: SIEMENS WT10 (<https://sie.ag/2XZVxIL>)

Número do Artigo: [7MH4900-1AK01](#)

Quantidade: 1 unidade

Startdrive - Software configuração do inversor de frequência SINAMICS G120

Página do Produto: <https://sie.ag/30WZxFv>

Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3fXdxTX>

Disponível no catálogo: SIEMENS D31.1 (<https://sie.ag/31TZnOt>)

Número do Artigo: [6SL3072-4FA02-0XG0](#)

Quantidade: 1 unidade

STEP 7 – Software de configuração e programação do PLC

Página do Produto: <https://sie.ag/3l449BY>

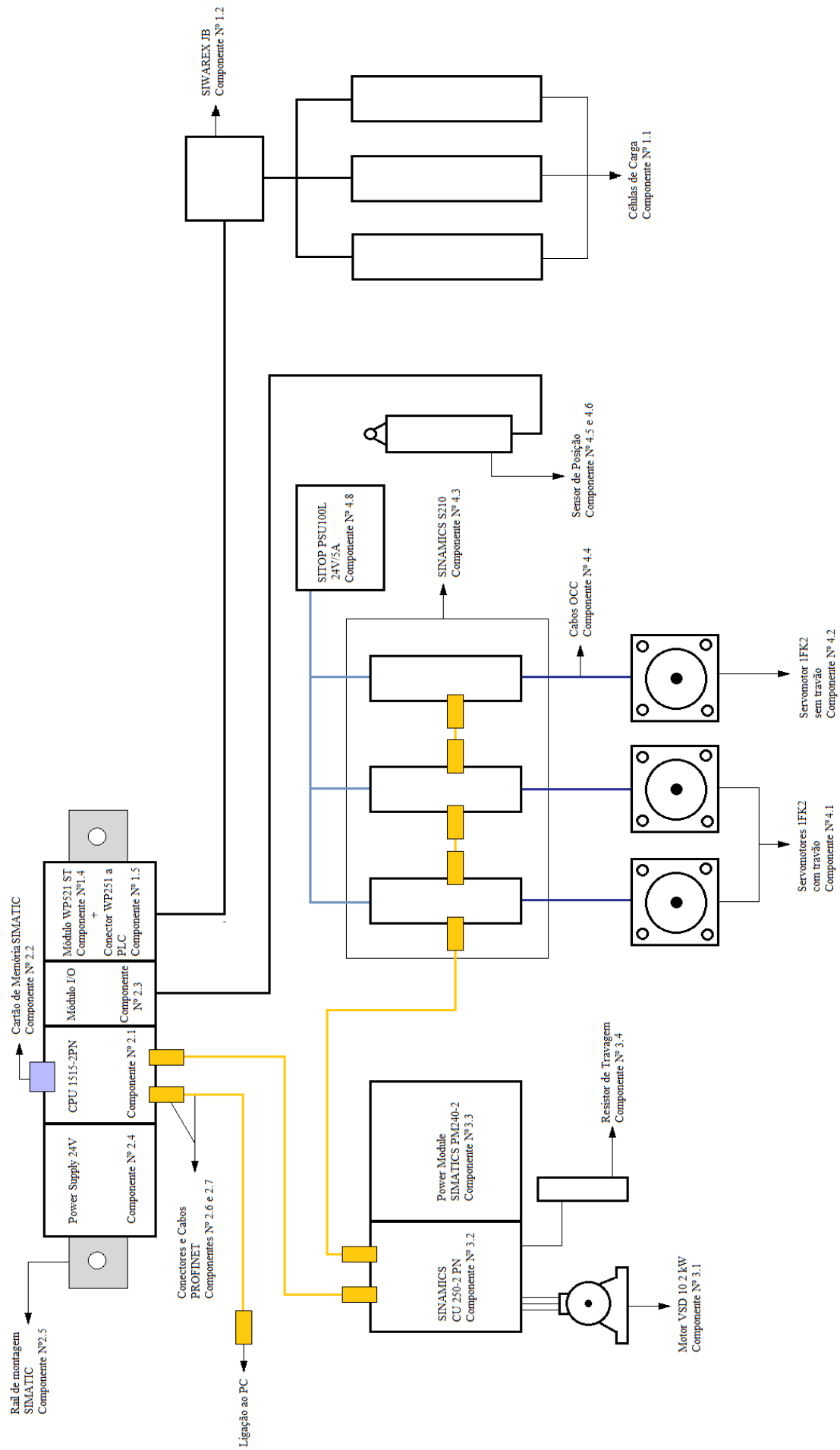
Especificações Técnicas: <https://sie.ag/3g9WZYT>

Disponível no catálogo: SIEMENS ST70 (<https://sie.ag/3awqkvI>)

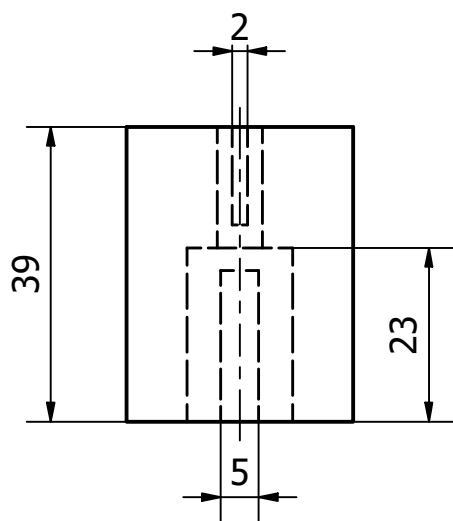
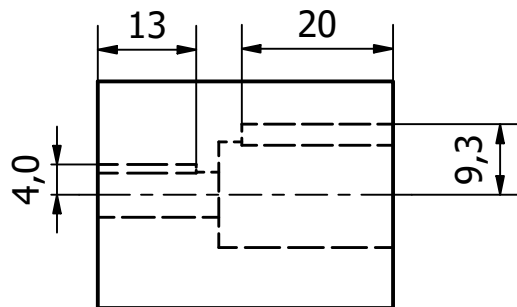
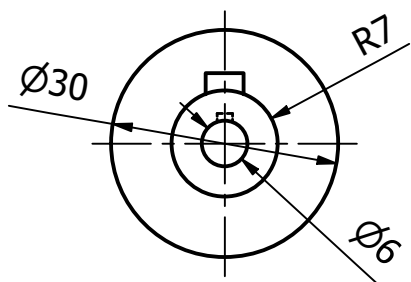
Número do Artigo: [6ES7822-1AE05-0YA5](#)

Quantidade: 1 unidade

ANEXO II – DIAGRAMA DA INSTALAÇÃO

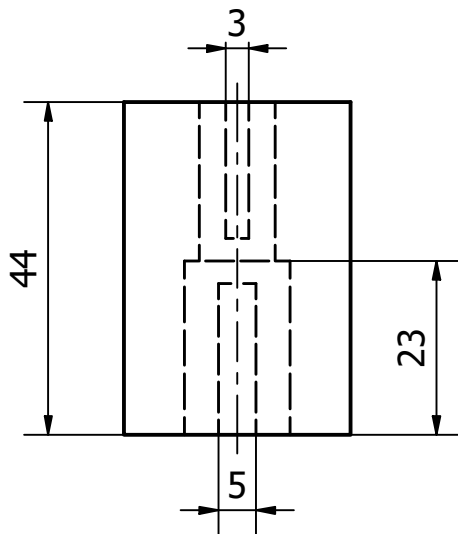
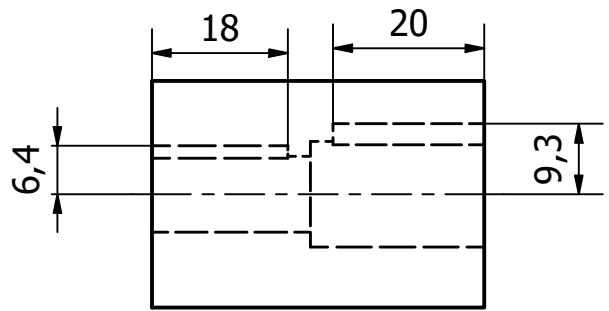
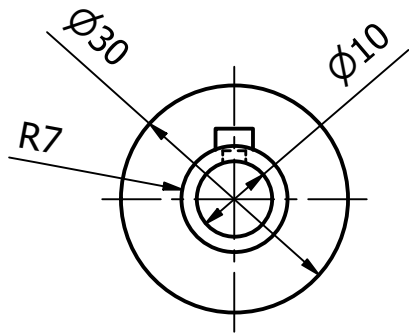


ANEXO III – DESENHOS TÉCNICOS



Tolerâncias Dimensionais Gerais segundo *ISO 2768-1 (m)* Tolerâncias Geométricas Geral segundo *ISO 2768-2 (L)*
 Tolerâncias Gerais para construção Soldada:- para dimensões lineares e angulares segundo *ISO 13920 (C)*;
 - para linearidade, planeza e paralelismo segundo *ISO 13920 (G)*;

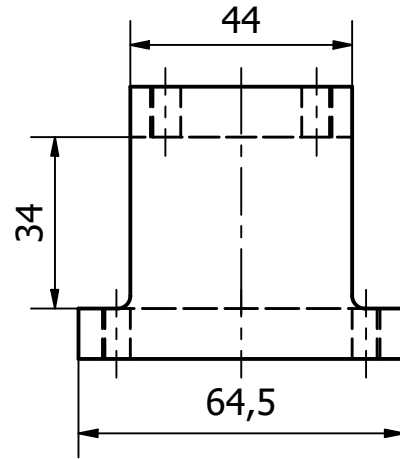
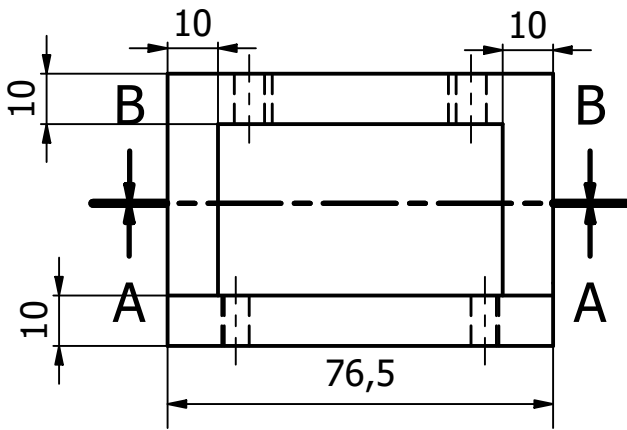
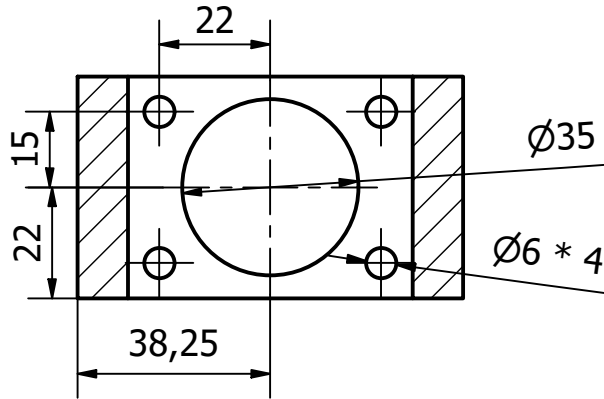
	DATA	RUBRICA	QUANT.: 1	PROJETO	
DP	31/08/2020	Pedro Morado			
Verif.	31/08/2020	Pedro Morado			
Aprov.		Luis Alves			
MATERIAL:	Generic		ESCALA	DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA
ACABAMENTO:			1 : 1		Ligação 6-14
PESO UNIT.:	N/A				
			Sheet	CORTE/ DIMENSÕES	
			1/1		
					substitui:
					subst.por:



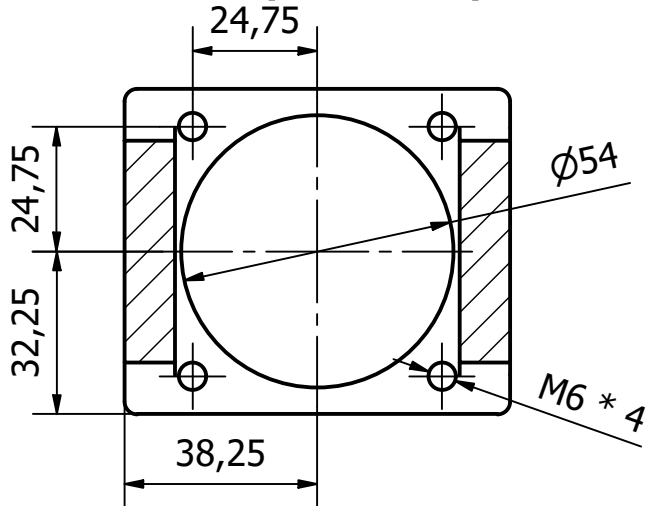
Tolerâncias Dimensionais Gerais segundo *ISO 2768-1 (m)* Tolerâncias Geométricas Geral segundo *ISO 2768-2 (L)*
 Tolerâncias Gerais para construção Soldada:- para dimensões lineares e angulares segundo *ISO 13920 (C)*;
 - para linearidade, planeza e paralelismo segundo *ISO 13920 (G)*;

	DATA	RUBRICA	QUANT.: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2</div>	PROJETO	
DP	31/08/2020	Pedro Morado			
Verif.	31/08/2020	Pedro Morado			
Aprov.		Luis Alves			
MATERIAL:	Generic		ESCALA	DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA
ACABAMENTO:			1 : 1		
PESO UNIT.:	N/A				Ligação 10-14
			Sheet	CORTE/ DIMENSÕES	
			1/1		
					substitui:
					subst.por:

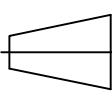

A-A (1 : 1,5)

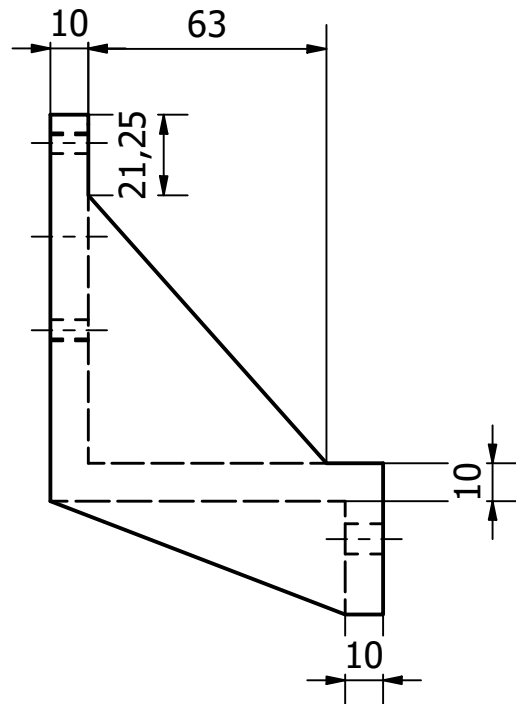
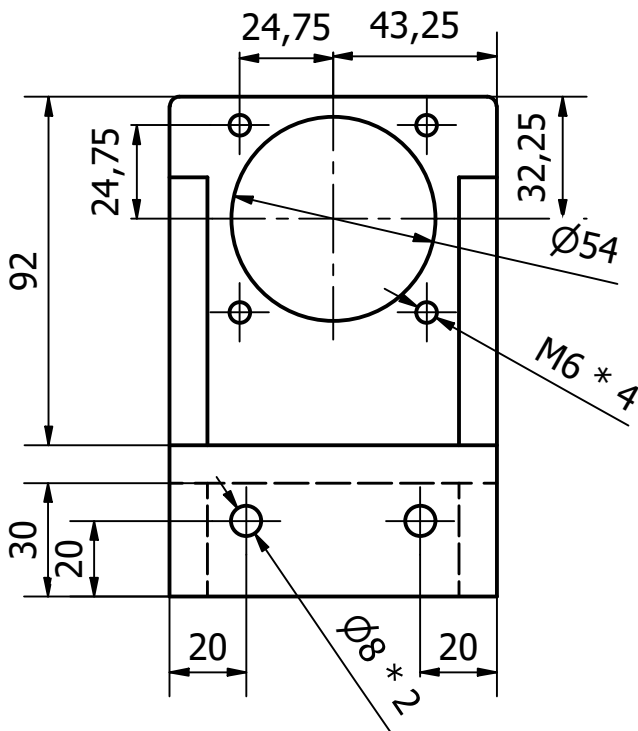
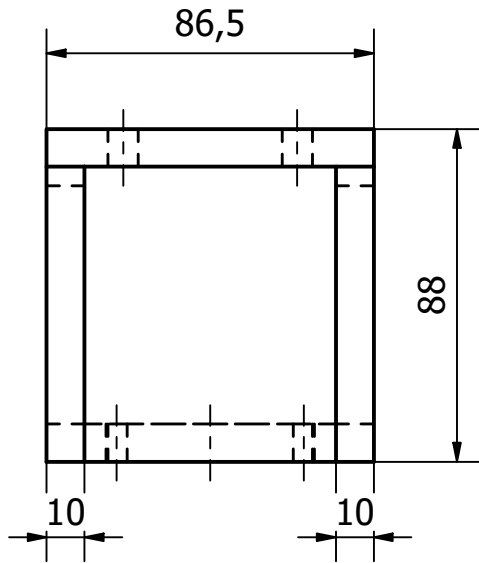


B-B (1 : 1,5)



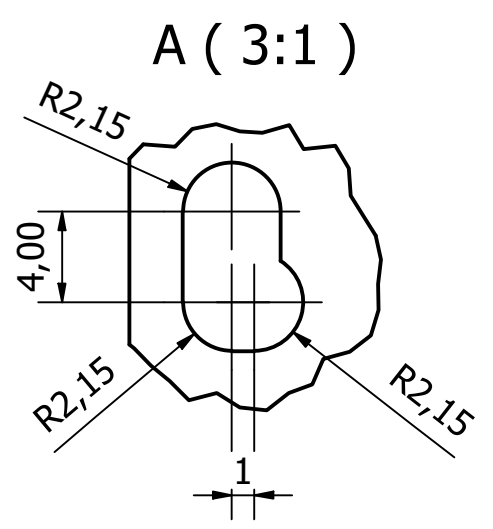
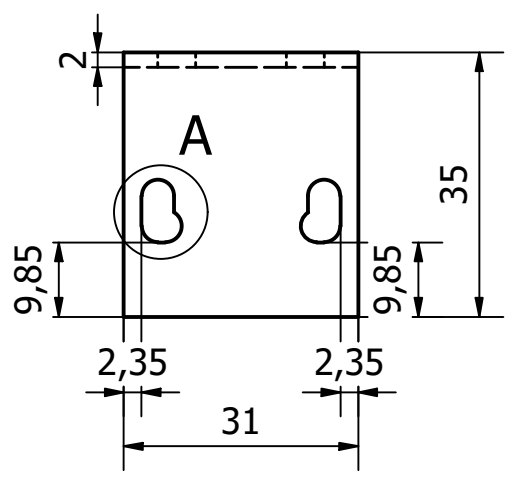
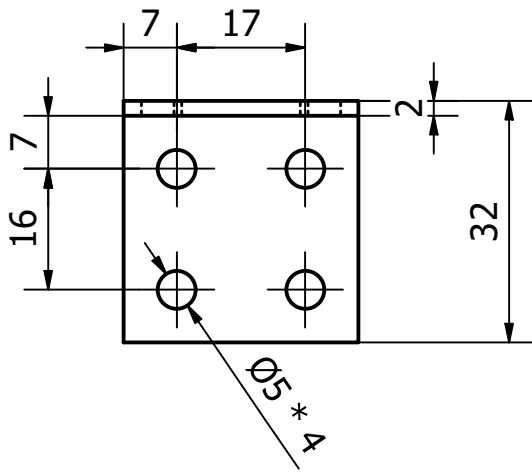
Tolerâncias Dimensionais Gerais segundo ISO 2768-1 (m) Tolerâncias Geométricas Geral segundo ISO 2768-2 (L)
 Tolerâncias Gerais para construção Soldada:- para dimensões lineares e angulares segundo ISO 13920 (C);
 - para linearidade, planeza e paralelismo segundo ISO 13920 (G);

	DATA	RUBRICA	QUANT.: 2	PROJETO	
DP	31/08/2020	Pedro Morado			
Verif.	31/08/2020	Pedro Morado			
Aprov.		Luis Alves			
MATERIAL:	Generic		ESCALA	DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA
ACABAMENTO:			1 : 1,5		
PESO UNIT.:	N/A				Suporte motor 1
 	Sheet	CORTE/ DIMENSÕES			
	1/1				
					substitui:
					subst.por:



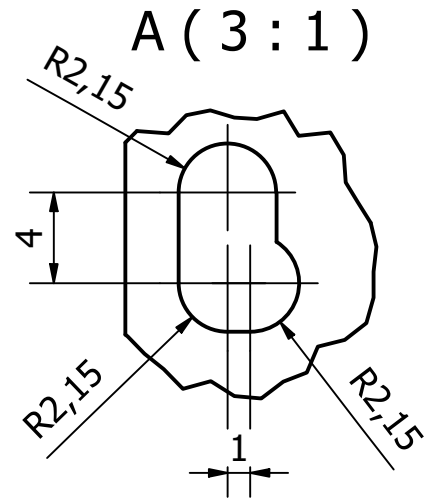
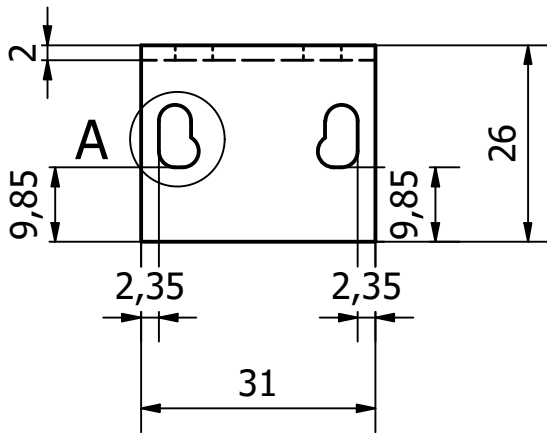
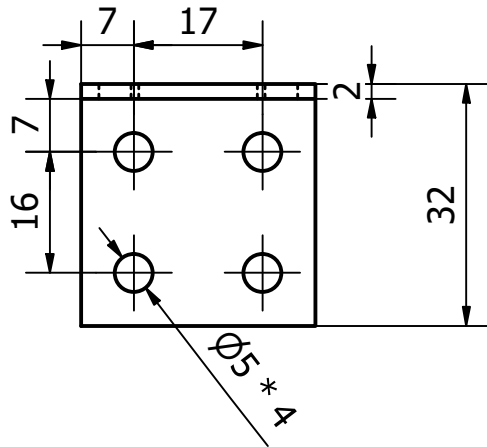
Tolerâncias Dimensionais Gerais segundo ISO 2768-1 (m) Tolerâncias Geométricas Geral segundo ISO 2768-2 (L)
 Tolerâncias Gerais para construção Soldada:- para dimensões lineares e angulares segundo ISO 13920 (C);
 - para linearidade, planeza e paralelismo segundo ISO 13920 (G);

	DATA	RUBRICA	QUANT.: 1	PROJETO	
DP	01/09/2020	Pedro Morado			
Verif.	01/09/2020	Pedro Morado			
Aprov.		Luis Alves			
MATERIAL:	Generic		ESCALA	DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA
ACABAMENTO:			1 : 2		Suporte motor 2
PESO UNIT.:	N/A				
			Sheet	CORTE/ DIMENSÕES	
			1/1		
					substitui:
					subst.por:



Tolerâncias Dimensionais Gerais segundo ISO 2768-1 (m) Tolerâncias Geométricas Geral segundo ISO 2768-2 (L)
 Tolerâncias Gerais para construção Soldada:- para dimensões lineares e angulares segundo ISO 13920 (C);
 - para linearidade, planeza e paralelismo segundo ISO 13920 (G);

	DATA	RUBRICA	QUANT.: 1	PROJETO	
DP	01/09/2020	Pedro Morado			
Verif.	01/09/2020	Pedro Morado			
Aprov.		Luis Alves			
MATERIAL:	Generic		ESCALA	DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA Suporte Sensor
ACABAMENTO:			1 : 1		
PESO UNIT.:	N/A				
			Sheet	CORTE/ DIMENSÕES	
			1/1		
					substitui:
					subst.por:



Tolerâncias Dimensionais Gerais segundo ISO 2768-1 (m) Tolerâncias Geométricas Geral segundo ISO 2768-2 (L)
 Tolerâncias Gerais para construção Soldada:- para dimensões lineares e angulares segundo ISO 13920 (C);
 - para linearidade, planeza e paralelismo segundo ISO 13920 (G);

	DATA	RUBRICA	QUANT.: 1	PROJETO	
DP	01/09/2020	Pedro Morado			
Verif.	01/09/2020	Pedro Morado			
Aprov.		Luis Alves			
MATERIAL:	Generic		ESCALA	DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA
ACABAMENTO:			1 : 1		Suporte Sensor2
PESO UNIT.:	N/A				
			Sheet	CORTE/ DIMENSÕES	
			1/1		
					substitui:
					subst.por: