

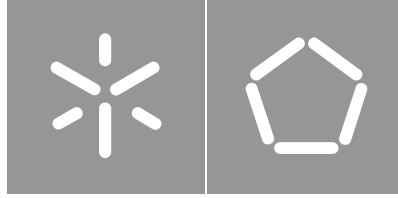


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Filipe Dantas de Sousa

**Projeto Mecânico de um Sistema de Desenrolamento e Enrolamento de Fio Têxtil**





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Filipe Dantas de Sousa

**Projeto Mecânico de um Sistema de  
Desenrolamento e Enrolamento de Fio  
Têxtil**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica  
Sistemas Mecatrónicos

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor José Mendes Machado**

# 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.

## ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição-NãoComercial**

**CC BY-NC**

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que contribuíram para a realização deste longo trabalho, das mais diversas maneiras.

Ao meu companheiro de projeto Pedro Caldas, pelo seu incansável apoio e liderança em face da incerteza, inabalável fonte de motivação e determinação, e inimaginável contribuição e capacidade de trabalho. Numa nota pessoal, agradeço ainda os excelentes momentos de lazer passados ao longo deste trabalho e ao longo dos restantes anos de formação.

Ao professor José Machado, pelas geniais sugestões e orientação que contribuíram enormemente para o sucesso deste projeto.

Ao professor Filipe Pereira, pela disponibilidade e apoio total durante o projeto e todos os conhecimentos transmitidos.

À minha família, em particular aos meus pais, pelo esforço realizado e pelo apoio incondicional ao longo de todo o percurso académico.

Aos meus amigos, que me encheram de momentos inesquecíveis e que tornaram estes cinco anos num percurso muito especial.

O meu mais sincero e sentido obrigado!

## **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

O trabalho apresentado neste documento consiste no desenvolvimento do projeto mecânico de um sistema de desenrolamento e enrolamento de fio têxtil, permitindo passar o fio em frente à lente de uma câmara e a velocidade e oscilações controladas. Este projeto tem aplicação numa máquina de análise da qualidade de fio têxtil por processamento de imagem, cujo custo é drasticamente mais baixo que a competição no mercado e se distingue pela portabilidade e maior quantidade de parâmetros de qualidade que avalia. A máquina resulta de um contínuo trabalho de investigação desenvolvido nos últimos anos com vista a satisfazer as necessidades da indústria têxtil na procura da elevação e generalização do acesso ao controlo da qualidade têxtil.

O projeto desenvolvido segue uma metodologia racional de projeto mecânico. Inicialmente, são apresentadas neste documento revisões bibliográficas sobre essa metodologia e ainda sobre conceitos fundamentais do universo têxtil. De seguida apresenta-se o processo seguido para a formação do conceito de solução do projeto desenvolvido, incluindo os objetivos do sistema. Esta solução conceptual é depois detalhadamente desenvolvida nos três subsistemas que a compõem (desenrolamento, condução de fio e enrolamento). É elaborado um conjunto de testes que avaliam conceitos fundamentais do funcionamento de cada subsistema, de onde resultam um conjunto de modificações. Posteriormente os três subsistemas são incorporados na sua forma final e novos testes são efetuados para avaliar o funcionamento da máquina.

Dos testes finais em laboratório conclui-se que o projeto foi executado com sucesso, cumprindo todos os objetivos propostos e dessa forma contribui para o projeto de inovação em que está inserido. São ainda sugeridos alguns trabalhos futuros que beneficiariam o funcionamento da máquina.

**Palavras chave:** fio têxtil, máquina de análise da qualidade, metodologia racional.

## **ABSTRACT**

The work presented in this document consists of the development of the mechanical design of a textile yarn unwinding and winding system, allowing the yarn to pass in front of a camera lens and at controlled speed and oscillations. This project is being applied to a machine for analyzing the quality of textile yarn by image processing, whose cost is drastically lower than market competition and is differentiated by its portability and greater quantity of quality parameters that it evaluates. The machine is the result of continuous research work carried out in recent years with the purpose of satisfying the needs of the textile industry in the search for an elevation and generalization of access to textile quality control.

The developed project follows a rational mechanical design methodology. Initially, bibliographical reviews on this methodology and on fundamental concepts of the textile universe are presented in this document. The process followed for the formation of the solution concept of the developed project is presented below, including the system objectives. This conceptual solution is then developed in detail in the three subsystems that compose it (unwinding, yarn guiding and winding). A set of tests is elaborated that evaluate fundamental concepts of the functioning of each subsystem, which result in a set of modifications. Afterwards, the three subsystems are incorporated into their final form and new tests are carried out to assess the machine's operation.

From the final laboratory tests, it can be concluded that the project was successfully executed, fulfilling all the proposed objectives and, in this way, it contributes to the innovation project in which it is inserted. Some future work that would benefit the machine's operation is also suggested.

**Key words:** quality analysis machine, rational methodology, textile yarn.



# ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| Agradecimentos.....                            | iii  |
| Resumo.....                                    | v    |
| Abstract.....                                  | vi   |
| Índice.....                                    | vii  |
| Índice de Figuras.....                         | ix   |
| Índice de Tabelas.....                         | xii  |
| Índice de Equações.....                        | xiii |
| Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos..... | xiv  |
| 1. Introdução.....                             | 1    |
| 1.1 Enquadramento e Motivação.....             | 2    |
| 1.2 Objetivos.....                             | 2    |
| 1.3 Organização da Dissertação.....            | 3    |
| 2. Estado da Arte.....                         | 5    |
| 2.1 Metodologia do Projeto Mecânico.....       | 6    |
| 2.1.1 Clarificação de Objetivos.....           | 9    |
| 2.1.2 Estrutura de Funções.....                | 10   |
| 2.1.3 Atributos e Requisitos.....              | 11   |
| 2.1.4 Criação de Soluções Alternativas.....    | 12   |
| 2.1.5 Avaliação das soluções.....              | 13   |
| 2.2 Têxtil.....                                | 16   |
| 2.2.1 Conceitos Base.....                      | 16   |
| 2.2.2 Sistemas de Desenrolamento de Fio.....   | 23   |
| 2.2.3 Sistemas de Condução de Fio.....         | 26   |
| 2.2.4 Sistemas de Enrolamento de Fio.....      | 28   |
| 2.2.5 Sistemas de Controlo de Tensão.....      | 36   |
| 3. Projeto Conceptual.....                     | 42   |
| 3.1 Clarificação de Objetivos.....             | 43   |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.2   | Estrutura de Funções .....   | 45  |
| 3.3   | Atributos e Requisitos .....   | 45  |
| 3.4   | Criação de Soluções Alternativas .....   | 46  |
| 3.5   | Avaliação das Soluções .....   | 51  |
| 4.    | Desenvolvimento do Projeto .....   | 56  |
| 4.1   | Solução conceptual .....   | 57  |
| 4.1.1 | Sistema de Desenrolamento .....  | 57  |
| 4.1.2 | Sistema de Condução de Fio .....   | 59  |
| 4.1.3 | Sistema de Enrolamento.....  | 61  |
| 4.2   | Testes Preliminares .....  | 63  |
| 4.2.1 | Bancada de Testes .....  | 63  |
| 4.2.2 | Sistema de Desenrolamento .....  | 64  |
| 4.2.3 | Sistema de Condução de Fio .....   | 65  |
| 4.2.4 | Sistema de Enrolamento.....  | 68  |
| 4.2.5 | Modificações segundo resultados dos testes .....   | 69  |
| 4.3   | Solução Validada/Escolhida .....   | 69  |
| 4.3.1 | Sistema de Desenrolamento .....  | 70  |
| 4.3.2 | Sistema de Condução de Fio .....   | 72  |
| 4.3.3 | Sistema de Enrolamento.....  | 81  |
| 4.4   | Testes gerais e discussão de resultados.....   | 84  |
| 5.    | Considerações Finais .....   | 86  |
| 5.1   | Conclusões .....   | 87  |
| 5.2   | Trabalhos Futuros .....  | 87  |
|       | Referências Bibliográficas .....   | 89  |
|       | Apêndice A – Mapa morfológico do projeto .....   | 91  |
|       | Apêndice B – Resultados Obtidos do Teste de Condução de Fio .....  | 92  |
|       | Apêndice C – Lista de Peças, Vistas Detalhadas da Solução Final e Desenhos Técnicos de Peças Customizadas..... | 93  |
|       | Apêndice D – Custo estimado do protótipo.....  | 117 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 - Metodologia de projeto da VDI 2221 [6] .....   | 7  |
| Figura 2.2 - Sete fases da metodologia de projeto [7] .....   | 8  |
| Figura 2.3 - Exemplo básico de árvore de objetivos [7] .....  | 9  |
| Figura 2.4 - Esquema da caixa negra [7] .....   | 10 |
| Figura 2.5 - Esquema da caixa transparente [7] .....  | 11 |
| Figura 2.6 - Especificação de uma torneira [7] .....  | 12 |
| Figura 2.7 - Exemplo de mapa morfológico de máquina de colher batatas [7] .....   | 13 |
| Figura 2.8 - Árvore de objetivos. Pontuação absoluta de cada objetivo à direita e pontuação relativa à esquerda [7] .....             | 14 |
| Figura 2.9 - a) Fio composto por vários filamentos contínuos. b) Fio composto por várias fibras curtas torcidas [8] .....             | 16 |
| Figura 2.10 - a) Plyed yarn formado por 2 fios. b) Plyed yarns formado por plyed yarns [8] .....                                      | 17 |
| Figura 2.11 - a) Representação de fio com efeito de semente. b) Representação de fio com efeito espiral [8] .....                     | 17 |
| Figura 2.12 - Diagrama tensão massa - alongamento para um fio têxtil [10] .....   | 21 |
| Figura 2.13 - a) Exemplo de torção em S; b) Exemplo de torção em Z [8] .....  | 22 |
| Figura 2.14 - a) Enrolamento em paralelo; b) Enrolamento cruzado [11] .....   | 22 |
| Figura 2.15 - Ângulo de Enrolamento [9] .....   | 23 |
| Figura 2.16 - Ângulo de cone [9] .....  | 23 |
| Figura 2.17 - Rácio de travessia [9] .....  | 23 |
| Figura 2.18 - a) Desenrolamento pelo Lado; b) Desenrolamento pelo topo [9] .....  | 24 |
| Figura 2.19 - Desenrolamento pelo topo em bobine cônica e bobine cilíndrica [9] .....   | 24 |
| Figura 2.20 - Diagrama representativo de desenrolamento pelo topo num cone a baixas velocidades [14] .....                            | 26 |
| Figura 2.21 - Diagrama representativo de desenrolamento pelo topo num cone a altas velocidades [14] .....                             | 26 |
| Figura 2.22 - a) Roldana [16]; b) Diversas guias de fio [17] .....  | 27 |
| Figura 2.23 - a) Enrolamento aleatório com cilindro ranhurado; b) Enrolamento aleatório com cilindro plano e guia recíproca [9] ..... | 28 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.24 - Enrolamento de precisão com: a) Velocidade contante; b) Velocidade variável [23] .....                                       | 29 |
| Figura 2.25 - Sistemas de enrolamento de precisão, a) Velocidade contante; b) Velocidade variável [9].<br>.....                            | 29 |
| Figura 2.26 - Método de enrolamento por passos [9]. .....  | 30 |
| Figura 2.27 - Sistema de enrolamento aleatório movido na bobine e no guia transversal [9] .....  | 32 |
| Figura 2.28 - Sistema de enrolamento flexível movido na bobine e com elemento transversal recíproco<br>[9].....                            | 33 |
| Figura 2.29 - Sistemas de enrolamento flexíveis movidos por atrito [9] .....   | 33 |
| Figura 2.30 - Diversos cilindros ranhurados para bobines cónicas e cilíndricas [9] .....   | 34 |
| Figura 2.31 - Esquema de guia de fio recíproco por cilindro ranhurado [9].....   | 34 |
| Figura 2.32 - Explicação de movimentação das lâminas contra-rotativas [9].....   | 34 |
| Figura 2.33 - Esquema de travessia de fio por fenda em cilindro [9] .....  | 35 |
| Figura 2.34 - Esquema de travessia de fio por guia movido a correia [9].....   | 35 |
| Figura 2.35 - Esquema de travessia de fio por alavanca [9] .....   | 35 |
| Figura 2.36 – Dispositivos de medição e controlo de tensão [24] .....  | 37 |
| Figura 2.37 - Tensionadores aditivos [25].....   | 38 |
| Figura 2.38 - Tensionadores multiplicativos [25] .....   | 38 |
| Figura 2.39 - Tensionadores aditivos e multiplicativos [25] .....  | 39 |
| Figura 2.40 - Tensionadores autocompensadores [26] .....   | 39 |
| Figura 2.41 - Sistema "Autotense FX" [9].....  | 40 |
| Figura 2.42 - Sistema de controlo de tensão através de alimentador positivo [9].....   | 40 |
| Figura 3.1 - Árvore de Objetivos do Projeto.....   | 44 |
| Figura 3.2 - Esquema da Estrutura de Funções da Máquina .....  | 45 |
| Figura 3.3 - Esquematização da combinação de sub-soluções 1. ....  | 48 |
| Figura 3.4 - Esquematização da combinação de sub-soluções 2. ....  | 49 |
| Figura 3.5 - Esquematização da combinação de sub-soluções 3. ....  | 50 |
| Figura 3.6 - Esquematização da combinação de sub-soluções 4.....   | 51 |
| Figura 3.7 - Árvore de objetivos com pesos ponderados. Peso Relativo fora de parênteses, peso<br>absoluto dentro de parênteses retos ..... | 52 |
| Figura 4.1 - Solução conceptual 2.....   | 57 |
| Figura 4.2 - Solução conceptual - Sistema de desenrolamento.....   | 59 |
| Figura 4.3 - Solução conceptual - Sistema de condução do fio.....  | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.4 - Solução conceptual - Sistema de enrolamento .....   | 62 |
| Figura 4.5 - Bancada de testes com fio em loop, desviado por roldanas.....   | 63 |
| Figura 4.6 - Teste ao desenrolamento pelo topo. Imagem da esquerda corresponde ao testes 1.a. e imagem da direita aos testes 1.b. .... | 65 |
| Figura 4.7 - Imagem de cima é uma vista de topo do ensaio 1.2.1. Imagem de baixo é uma vista frontal do ensaio 1.3. ....               | 67 |
| Figura 4.8 - Percurso do fio no sistema de enrolamento .....   | 68 |
| Figura 4.9 - Solução final com fio preparado .....   | 70 |
| Figura 4.10 - Suporte da bobine de desenrolamento .....  | 71 |
| Figura 4.11 - Guia de fio para desenrolamento e suporte de guia de fio .....   | 71 |
| Figura 4.12 - Geometria e montagem do sistema de desenrolamento.....   | 72 |
| Figura 4.13 - Sistema de condução de fio com alguns componentes sinalizados.....   | 74 |
| Figura 4.14 - a) Suporte de alimentador positivo; b) Base deslizante.....  | 75 |
| Figura 4.15 - a) Servomotor e suporte, polias e correias e base deslizante; b) Omron R88M-G20030H-S2 [27] .....                        | 77 |
| Figura 4.16 - Adaptador para guiamento de fio na lente e respetivas guias .....  | 79 |
| Figura 4.17 - Três sistemas de correias identificados a vermelho e dois sistemas de deslizamento identificados a verde.....            | 80 |
| Figura 4.18 - Sistema de enrolamento. À esquerda, vista lateral. À direita vista de topo .....   | 81 |
| Figura 4.19 - Movimento de rotação do braço de suporte da bobine .....   | 83 |
| Figura 4.20 - Encaixe entre bobine (6) e adaptador da bobine (36) .....  | 84 |
| Figura 4.21 - Detalhe na bobine (6) que permite prender o fio.....   | 84 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 2.1 - Constantes associadas aos sistemas diretos Tex e Denier .....   | 20  |
| Tabela 2.2 - Constantes associadas aos sistemas indiretos Métrico e Inglês .....   | 20  |
| Tabela 2.3 - Valores de tenacidade e alongamento de rotura para fios de materiais diferentes .....   | 20  |
| Tabela 3.1 - Especificações de desempenho do projeto .....   | 46  |
| Tabela 3.2 - Mapa morfológico do projeto, sem ilustrações (Ver Apêndice A). .....  | 47  |
| Tabela 3.3 - Pontuação das quatro soluções de acordo com o método dos objetivos ponderados.....  | 53  |
| Tabela A.1 - Mapa Morfológico completo do projeto (os quatro conjuntos de solução escolhidos estão<br>respetivamente assinalados com os números 1,2,3 e 4 e realçados com cores distintas para fácil<br>identificação) ..... | 91  |
| Tabela B.1 - Resultados obtidos do teste de condução de fio. Entre parênteses está indicada a<br>percentagem de tempo de teste para cada intervalo de amplitude de oscilações. ....  | 92  |
| Tabela C.1 - Lista das peças numeradas .....   | 93  |
| Tabela D.1 - Custo estimado dos diversos componentes do protótipo e soma total.....  | 117 |

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| (2.1) – Densidade linear (método direto).....             | 19 |
| (2.2) – Densidade Linear (método indireto) .....          | 19 |
| (4.1) – Conversão de velocidade.....                      | 76 |
| (4.2) - Cálculo da velocidade tangencial .....            | 78 |
| (4.3) - Cálculo da relação de transmissão .....           | 78 |
| (4.4) - Cálculo do diâmetro da polia plana do motor ..... | 79 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

**PYF** *Positive Yarn Feeder* (Alimentador Positivo de Fio)

**Fps** Frames per second (Quadros por segundo)

**Rpm** Rotações por minuto







## **1. INTRODUÇÃO**

*Este projeto surge no âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, e consiste no projeto e realização de um sistema mecânico de desenrolamento, condução e enrolamento de fio têxtil para um equipamento de análise da qualidade do mesmo por processamento de imagem.*

*Neste capítulo é descrito o enquadramento, a motivação, os objetivos e a organização deste documento.*

## **1.1 Enquadramento e Motivação**

Atualmente a indústria têxtil é um mercado em crescimento constante, e a procura pela qualidade dos produtos é uma tendência com grande importância na produção [1]. A qualidade dos produtos está diretamente relacionada com a qualidade do fio têxtil, pelo que se torna essencial determinar as características dos fios [2]. Existem no mercado várias máquinas com diferentes tecnologias e limitações, capazes de determinar a qualidade de fio, como é o caso de vários modelos da empresa *USTER*, nomeadamente os seus últimos modelos *USTER Tester 5* e *6* [3]. No entanto, estas máquinas caracterizam-se pelo seu elevado custo e por permitirem analisar apenas alguns parâmetros de qualidade do fio.

Nesse sentido tem sido desenvolvido nos últimos anos, um trabalho de investigação para a criação de uma alternativa para a recolha de vários parâmetros de qualidade do fio têxtil, com recurso a processamento de imagem [2][4]. Assim, surgiu a necessidade da construção de um protótipo físico para a continuação do desenvolvimento da investigação. Um sistema simples, de custo reduzido e portátil que seja capaz de desenrolar e enrolar uma bobine automaticamente, permitindo passar o fio em frente a uma lente e a velocidade controlada [1]. Esta dissertação trata o projeto do sistema mecânico de desenrolamento e enrolamento de fio, enquanto que o sistema de automação deste projeto foi elaborado no âmbito da dissertação referenciada em [5].

## **1.2 Objetivos**

Esta dissertação tem como objetivo geral o projeto mecânico de um sistema de desenrolamento e enrolamento de fio têxtil, para a aplicação num protótipo de análise da qualidade de fio têxtil por processamento de imagem. Os principais objetivos deste sistema são:

- Condução do fio com velocidade constante e exata em frente à lente;
- Condução do fio com o mínimo de oscilações em frente à lente;
- Versatilidade para várias bobines e tipos de fio;
- Sistema portátil, de massa reduzida;
- Sistema simples e de baixo custo.

### **1.3 Organização da Dissertação**

Para apresentar o trabalho desenvolvido de maneira simples e organizada, a dissertação está organizada da seguinte forma:

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução ao trabalho, onde se indica o enquadramento e a motivação, assim como os principais objetivos. No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica do estado da arte das temáticas necessárias para a realização deste projeto. No terceiro capítulo apresenta-se o processo seguido para a formação conceptual do projeto desenvolvido. No quarto capítulo é revelado o projeto detalhadamente na sua versão inicial, os testes realizados e as consequentes alterações, e o projeto detalhado resultante final. No quinto e último capítulo, são tecidas algumas conclusões relativas ao projeto desenvolvido, e a sugestão de possíveis tarefas a realizar num futuro desenvolvimento.



## **2. ESTADO DA ARTE**

*Neste capítulo são apresentados conceitos necessários ao desenvolvimento do projeto. Numa primeira fase são descritas metodologias de projeto mecânico, mais detalhadamente, a que foi utilizada para guiar o projeto. Seguidamente apresentam-se variados conceitos e sistemas existentes no universo têxtil, mais especificamente, respeitantes ao processamento de fio têxtil, elemento de fulcral para o projeto.*

## 2.1 Metodologia do Projeto Mecânico

O projeto mecânico a desenvolver necessita de resolver um problema, ou seja, encontrar uma solução para o problema. É então necessário definir bem o problema a resolver e estudar as soluções existentes. Existem várias metodologias de desenvolvimento de projeto mecânico que tentam simplificar este processo e ajudam a não cometer alguns erros comuns, a auxiliar o processo criativo e a expandir o leque de potenciais soluções. A metodologia seguida para este projeto será baseada na metodologia racional apresentada por Nigel Cross [6] sendo que é uma metodologia parecida, mas com algumas melhorias da metodologia delineada pela norma de engenharia alemã VDI 2221 [7].

A metodologia geral apresentada na VDI 2221 é composta por sete fases [7] (Figura 2.1):

- Clarificação de objetivos
- Estrutura de funções
- Princípios de solução e suas combinações
- Divisão em módulos
- Desenvolvimento dos módulos principais
- Desenvolvimento de todos os módulos
- Preparação da produção



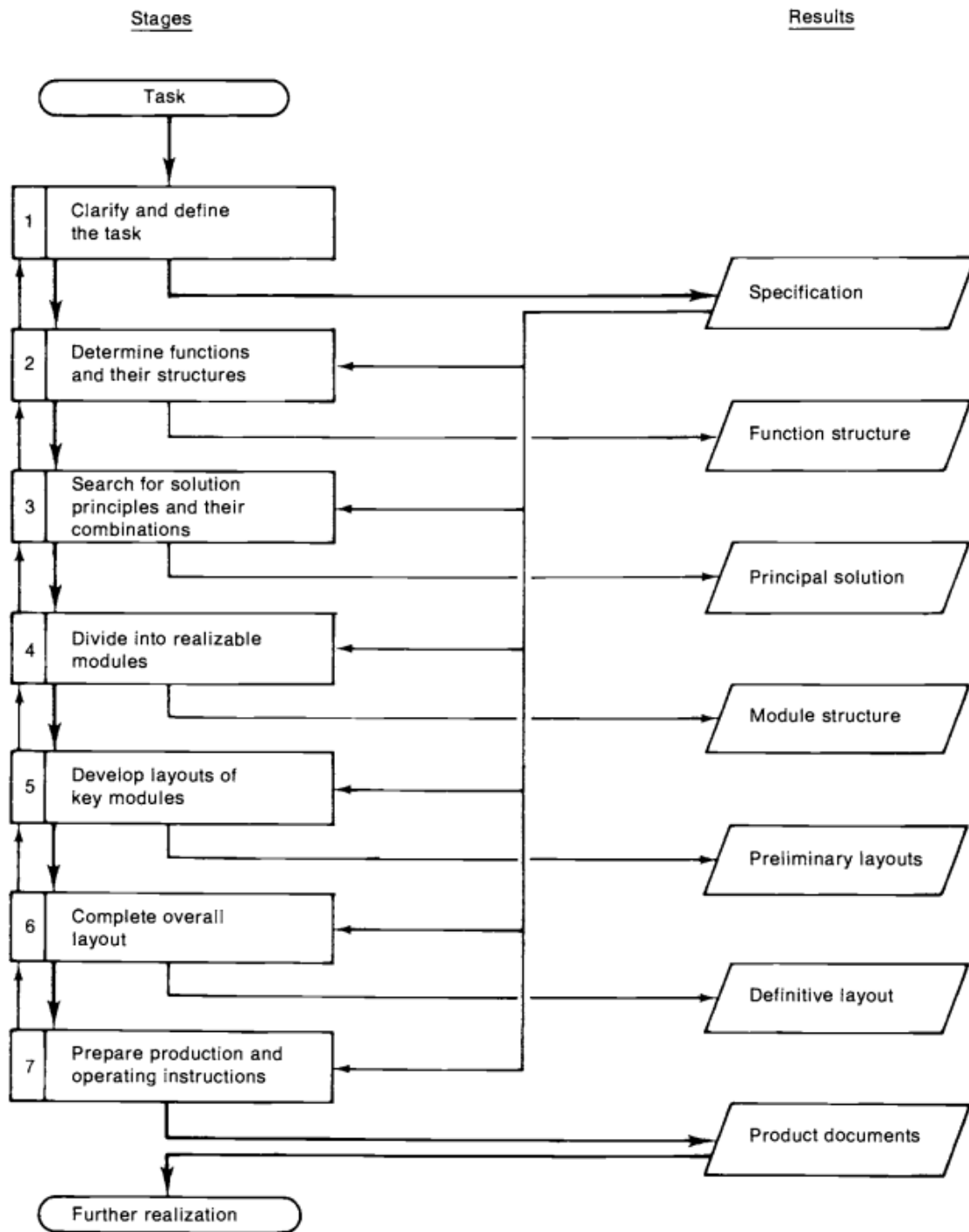
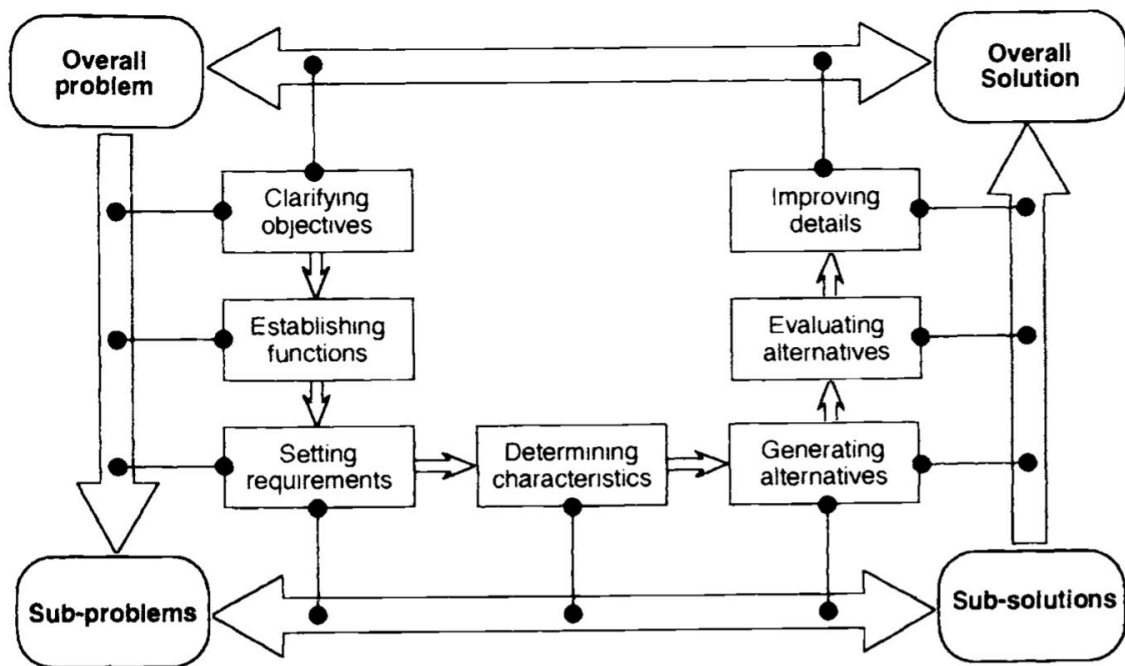


Figura 2.1 - Metodologia de projeto da VDI 2221 [7]

Esta metodologia é normalmente criticada por se basear numa abordagem focada no problema em vez de na solução [6].

A metodologia racional apresentada por Nigel Cross é composta também por uma seleção de 7 fases comumente usadas, sendo elas [6] (Figura 2.2):

- Clarificação de Objetivos
- Estrutura de Funções
- Atributos e requisitos
- Determinação de características
- Criação de Soluções Alternativas
- Avaliação de soluções
- Aperfeiçoamento de Detalhes



*Figura 2.2 - Sete fases da metodologia de projeto [6]*

Sendo que estas não devem ser consideradas como obrigatórias ou inflexíveis.

Para a metodologia deste projeto foram escolhidas 5 dessas fases, sendo elas:

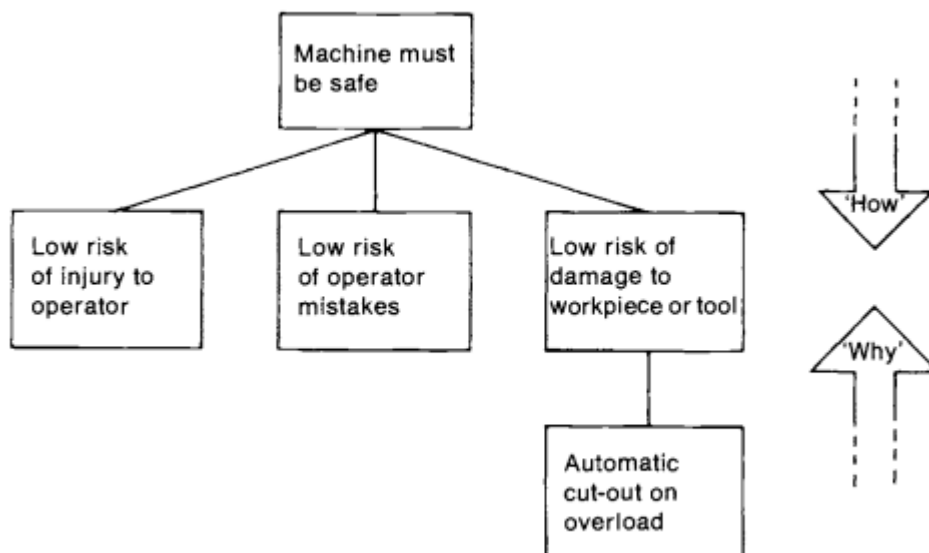
- Clarificação de Objetivos
- Estrutura de Funções
- Atributos e requisitos
- Criação de Soluções Alternativas
- Avaliação das soluções

Estas fases serão seguidamente explicadas em maior detalhe nos seguintes subcapítulos.

### 2.1.1 Clarificação de Objetivos

Quando o problema chega às mãos do projetista normalmente não está claramente definido. O cliente nem sempre tem ideia exata daquilo que quer e por vezes a única coisa que tem é mesmo o problema, sem qualquer ideia do produto desejado. O ponto de partida deverá, portanto, ser a clarificação dos objetivos, aos quais o projetista terá de cumprir para dar o problema como resolvido. Estes objetivos serão úteis durante todas as fases do projeto [6].

Um dos métodos mais utilizados, e aquele que será utilizado neste projeto é o método da árvore de objetivos (Figura 2.3). Este método oferece um formato útil e claro que permite realçar os objetivos e os meios para os atingir e permite também mostrar de forma esquemática o modo como os objetivos estão relacionados entre si, assim como a hierarquia entre objetivos e sub-objetivos [6].



*Figura 2.3 - Exemplo básico de árvore de objetivos [6]*

Para elaborar uma árvore de objetivos deve-se preparar uma lista de objetivos, sejam eles vindos do projetista ou do cliente, e depois expandir essa lista em sub-objetivos, usando questões do tipo: porquê?, como? e o quê? [6].

Desta lista surgirão vários objetivos, e algo que rapidamente se apercebe é que alguns objetivos têm mais importância que outros. Mais à frente, no subcapítulo sobre Avaliação das soluções, veremos como a árvore de objetivos poderá ser usada em conjunto com o método dos objetivos ponderados para auxiliar na seleção de uma solução.

### 2.1.2 Estrutura de Funções

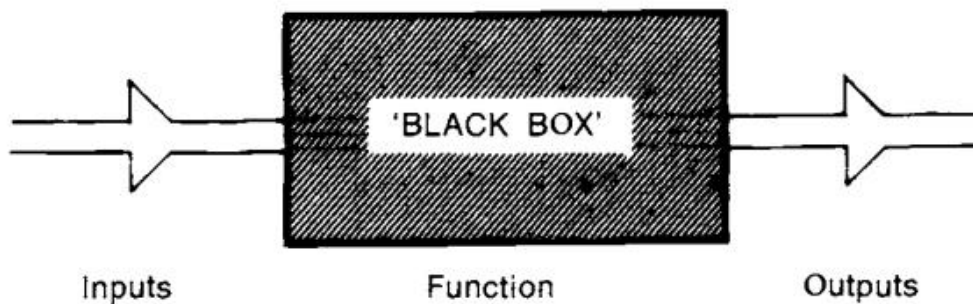
Como é evidenciado no método da árvore de objetivos, o problema pode ter vários níveis de detalhe ou generalidade. Analisando o exemplo clássico do projeto de uma maçaneta, percebemos que o projetista pode subir vários níveis de generalidade de desenhar um meio de entrada e saída que nem necessite de maçaneta, ou então pode descer vários níveis de generalidade e explorar todo o tipo de detalhes, como a ergonomia ou a cinemática do mecanismo de fecho, criando soluções que podem até ser melhorias de uma maçaneta, mas não são aquilo que o cliente deseja [6].

Existe também a situação contrária. Por vezes o cliente está tão focado num determinado nível de solução de problema que não percebe que uma melhor solução pode estar num nível de generalidade diferente [6].

É então bastante importante e útil ter uma ferramenta que permita definir as funções essenciais que o tipo de solução deverá satisfazer, dessa forma o projetista terá liberdade de explorar os níveis de detalhe que achar adequados e que cumpram as funções definidas [6].

O método utilizado para este propósito será o método da análise de funções.

Começa-se por esquematizar as funções dentro de uma caixa negra, e o que interessa é apenas colocar as entradas e as saídas, sendo as entradas normalmente energia, material e informação e a saída o resultado final das funções da máquina [6] (Figura 2.4).



*Figura 2.4 - Esquema da caixa negra [6]*

Depois será necessário preencher o interior da caixa com um conjunto de funções e subfunções necessárias para obter as saídas. É também necessário preencher o fluxos dentro da caixa, sejam eles de energia, materiais ou informação. O importante na elaboração desta nova caixa transparente é definir as suas fronteiras, ou seja, apenas colocar dentro da caixa aquelas que são as funções necessárias, pois estas definirão o funcionamento da máquina [6] (Figura 2.5).

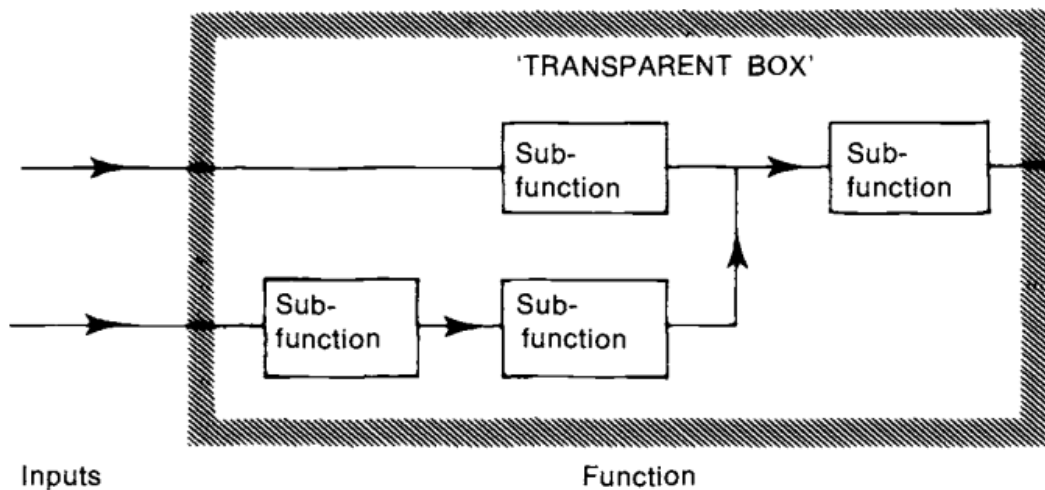


Figura 2.5 - Esquema da caixa transparente [6]

### 2.1.3 Atributos e Requisitos

Agora que existem objetivos claros e as funções estão bem definidas torna-se necessário quantificar esses objetivos, definindo limites ou intervalos aceitáveis de certos parâmetros, obtendo assim as especificações de desempenho do produto. Essas especificações ajudam a limitar a gama de soluções aceitáveis, tornando-se mais fácil convergir, mais tarde, numa solução [6].

Alguns exemplos desses limites são, por exemplo, gama de pesos aceitável ou dimensões de atravancamento máximas, poderá ser também um requisito de potência do motor [6].

O método para obter as especificações chama-se método das especificações do desempenho (Figura 2.6). Para aplicar este método deve-se começar por analisar os objetivos e as funções previamente delineados, dos quais serão extraídos um conjunto de atributos, como conforto, portabilidade, durabilidade, segurança, velocidade, custo... e estes atributos de desempenho serão utilizados para compor uma lista exaustiva. A lista deverá requerer informação tanto do cliente, como do consumidor e até do fabricante. Depois de formar a lista é necessário diferenciar os atributos que são exigidos daqueles que são apenas desejados [6].

Por fim, para cada atributo deverá ser redigida uma especificação de desempenho e sempre que possível essa especificação deve ser quantificada, tendo cuidado para não usar termos qualitativos, como "pouco" ou "muito pesado" e não aplicar valores exatos quando se aceita um intervalo de valores [6].

|                |                       | <i>Specification</i>  |                    |
|----------------|-----------------------|---|--------------------|
|                |                       | for<br>One-handed mixing tap  | Page 1             |
| <i>Changes</i> | <i>D<br/>or<br/>W</i> | <i>Requirements</i>   | <i>Responsible</i> |
|                | D                     | 1 Throughput (mixed flow) max. 10 l/min at 2 bar  |                    |
|                | D                     | 2 Max. pressure 10 bar (test pressure 15 bar as per DIN 2401)   |                    |
|                | D                     | 3 Temp. of water: standard 60°C, 100°C (short-time)   |                    |
|                | D                     | 4 Temperature setting independent of throughput and pressure  |                    |
|                | W                     | 5 Permissible temp. fluctuation $\pm 5^{\circ}\text{C}$ at a pressure diff. of $\pm 5$ bar between hot and cold supply                        |                    |
|                | D                     | 6 Connection: 2 x Cu pipes, 10 x 1 mm, l = 400 mm   |                    |
|                | D                     | 7 Single-hole attachment $\phi 35 \pm \frac{2}{1}$ mm, basin thickness 0 - 18 mm<br>(Observe basin dimensions DIN EN 31, DIN EN 32, DIN 1368) |                    |
|                | D                     | 8 Outflow above upper edge of basin: 50 mm  |                    |
|                | D                     | 9 To fit household basin  |                    |
|                | W                     | 10 Convertible into wall fitting  |                    |

Figura 2.6 - Especificação de uma torneira [6]


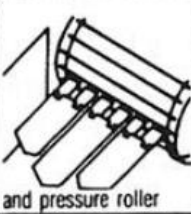






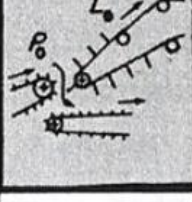
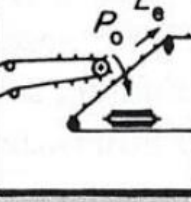
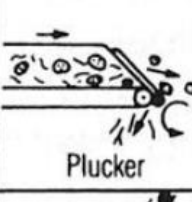
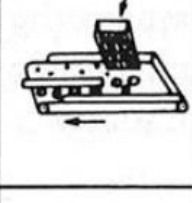
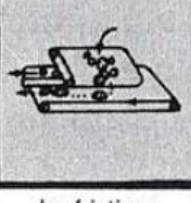


#### 2.1.4 Criação de Soluções Alternativas

Esta é a fase do processo criativo em que se criam as soluções que poderão vir a ser usadas no projeto. Para isso, e como sabemos que praticamente nada é inventado do nada, tudo deriva de outra coisa de alguma maneira ou da junção de várias coisas, o projetista deverá estudar os mais variados assuntos que tenham relevância para o projeto, pesquisar soluções existentes, adaptar soluções de outros ramos e também dar asas à criatividade interna, tudo na tentativa de criar o máximo número de soluções possíveis aos problemas.

O método usado para organizar este processo chama-se Mapa Morfológico (Figura 2.7).

O primeiro passo deste método é, para cada função pertencente à máquina, delineada no método da análise de funções, listar o máximo número de soluções para essa função [6].

Depois, deverá ser desenhada uma grelha. Num eixo são colocadas todas as funções da máquina, por exemplo, na primeira coluna de uma tabela. No outro eixo, neste caso, em cada linha, à direita da primeira coluna, deverão ser colocadas todas as soluções para a função dessa linha. O objetivo seguinte é identificar combinações de sub-soluções possíveis de serem realizadas, estas serão avaliadas na próxima fase [6].

| Solutions |                 | Sub-functions  |  |   |  |     |
|-----------|-----------------|--|--|---|--|-----|
|           |                 | 1  | 2  | 3   | 4  | ... |
| 1         | Lift            | <br>and pressure roller | <br>and pressure roller | <br>and pressure roller | <br>Pressure roller | ... |
| 2         | Sift            | <br>Sifting belt        | <br>Sifting grid        | <br>Sifting drum        | <br>Sifting wheel   | ... |
| 3         | Separate leaves |                         |                         | <br>Plucker             | ...  | ... |
| 4         | Separate stones |                       |                       |                       |                   | ... |
| 5         | Sort potatoes   | by hand  | by friction (inclined plane)   | checksize (hole gauge)  | check mass (weighing)  | ... |
| 6         | Collect         | Tipping hopper   | Conveyor   | Sack-filling device   | ...  | ... |

↓ Combination of principles

Figura 2.7 - Exemplo de mapa morfológico de máquina de colher batatas [6]

### 2.1.5 Avaliação das soluções

Uma vez escolhidas as várias combinações de sub-soluções, é necessário identificar a melhor. A melhor solução será aquela que melhor cumpre os objetivos definidos para o projeto, sendo esses os escolhidos através do método da árvore de objetivos. Como foi mencionado no subcapítulo da clarificação de objetivos, alguns objetivos são mais importantes que outros, portanto, na avaliação das soluções deverá ser utilizada uma média ponderada desses objetivos, de acordo com a sua importância [6].



O método de avaliação que tem em conta essa distribuição de importância dos objetivos chama-se método dos objetivos ponderados (Figura 2.8).

Existem várias maneiras de ordenar os objetivos de acordo com a sua importância, mas aquela que foi utilizada neste projeto começa por utilizar a árvore de objetivos e identificar os objetivos de maior nível, os mais importantes. A esses objetivos deverão ser distribuídos um total de pontos percentuais de acordo com a sua importância relativa, de modo que a soma de todos os pontos seja igual a 1, ou 100%. Para decidir a importância de cada objetivo, o projetista deverá consultar toda a equipa de projeto, assim como o cliente. Se algum desses objetivos possuir sub-objetivos, então o total de pontos do objetivo superior do qual descendem deverá ser distribuído por todos os seus sub-objetivos de 1 nível inferior. Se estes sub-objetivos possuírem mais sub-objetivos o processo repete-se até atingir todos os sub-objetivos. No final, a soma de todos os sub-objetivos que não possuem descendentes deverá ser igual a 1 [6].

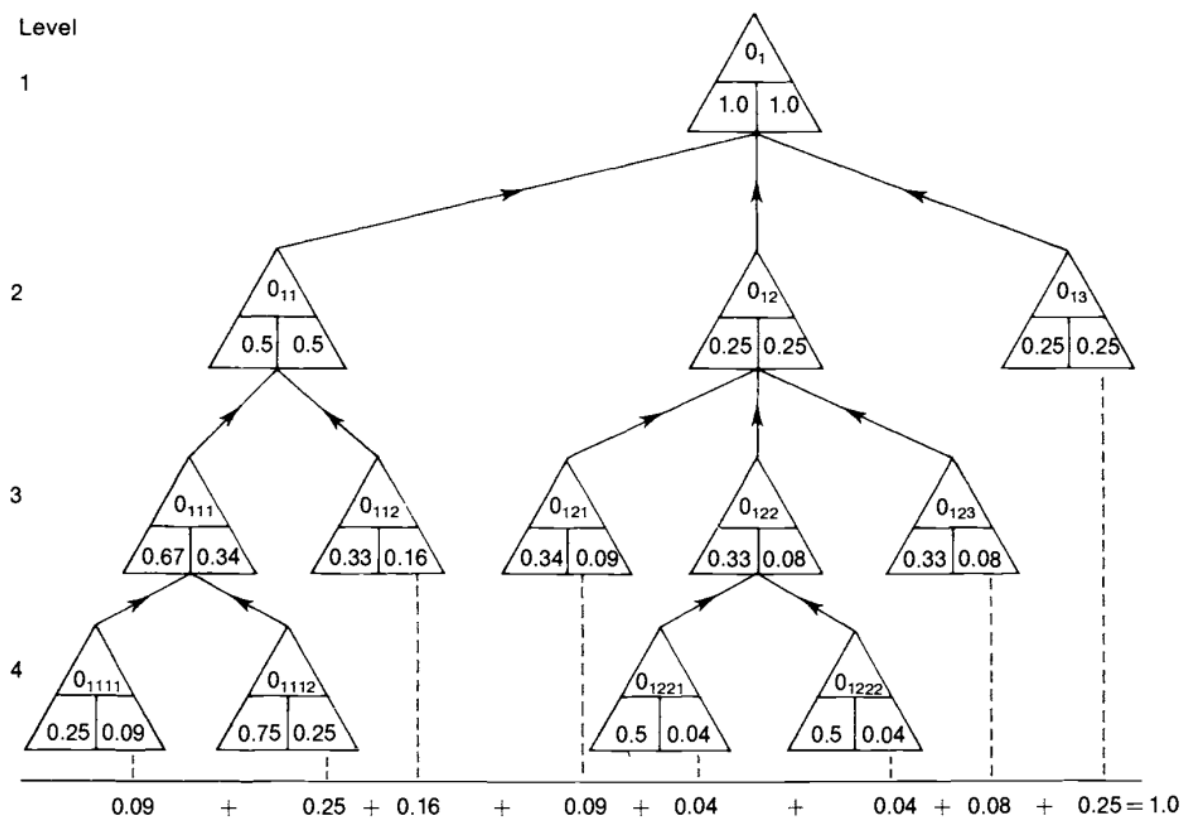


Figura 2.8 - Árvore de objetivos. Pontuação absoluta de cada objetivo à direita e pontuação relativa à esquerda [6]

Depois de atribuído o peso de cada objetivo, é necessário pontuar a capacidade de cada solução de completar cada um dos objetivos. Há várias maneiras de fazer isto, tanto se pode atribuir uma pontuação de 0 a 10 de acordo com uma avaliação qualitativa para objetivos não quantificáveis, como



se pode atribuir uma escala entre o melhor e o pior valor para objetivos quantificáveis. É importante manter todos os objetivos na mesma escala para garantir uma pontuação correta, neste caso, todos de 0 a 10. Por fim basta apenas calcular a média ponderada de cada solução para determinar a melhor [6].

## 2.2 Têxtil

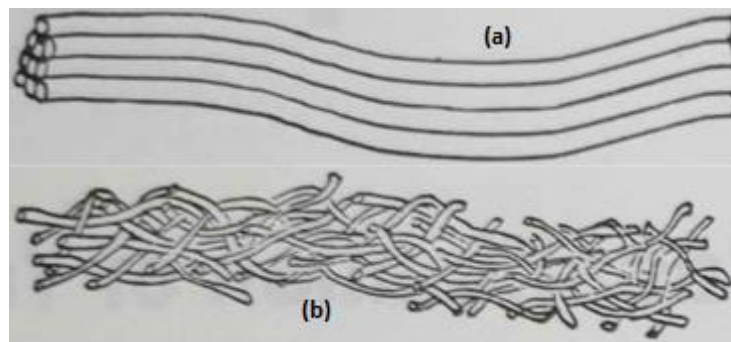
A componente têxtil deste projeto é central já que o objetivo da máquina será manuseá-lo, conduzi-lo e analisá-lo. É, portanto, necessário estudar as características do fio têxtil, as métricas pelas quais é definido, e as suas propriedades físicas e mecânicas, assim como alguns conceitos básicos de enrolamento. Será também importante estudar os sistemas existentes que permitem desenrolar, conduzir e enrolar o fio, assim como controlar a sua tensão.

### 2.2.1 Conceitos Base

#### *Definição de fio têxtil*

O fio têxtil é definido como um conjunto linear de fibras ou filamentos que formam um fio contínuo tendo um determinado conjunto de características. Essas características são uma elevada tensão de cedência, elevada flexibilidade, tem de possuir características tácteis e visuais associadas a produtos têxteis e tem de ser processável por máquinas têxteis [8].

O fio pode ser composto por um ou mais filamentos contínuos ou várias fibras curtas, não contínuas. No último caso, as fibras são torcidas para permanecerem juntas e formarem um fio contínuo (Figura 2.9) [8].



*Figura 2.9 - a) Fio composto por vários filamentos contínuos. b) Fio composto por várias fibras curtas torcidas [8]*

Fios também podem ser formados pela torção de dois ou mais fios juntos, formando um *plied yarns* (Figura 2.10) [8].

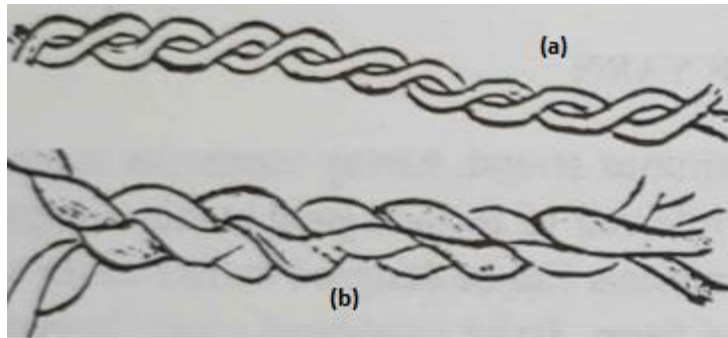


Figura 2.10 - a) Plied yarn formado por 2 fios. b) Plied yarns formado por plied yarns [8]

### Tipos de fio têxtil

Os variados tipos de fio podem ser classificados de acordo com as suas propriedades físicas e características de performance, ambas dependentes das propriedades físicas das fibras ou filamentos constituintes e da sua estrutura.

**Staple ou Spun Yarn** – fios constituídos por fibras curtas emaranhadas ou torcidas. Possuem excelentes qualidades têxteis e estéticas quando formam tecidos. Estes fios possuem menor resistência mecânica e uniformidade do que fios formados por filamentos contínuos de densidade linear igual. Devido à natureza da sua produção, estes fios possuem uma variação considerável na sua secção transversal e, portanto, estão limitados quanto à fineza dos fios obtidos [8].

**Fios formados por filamentos contínuos** – estes fios são constituídos por um ou mais filamentos contínuos. Possuem excelente resistência mecânica e uniformidade, no entanto, não possuem boas qualidades tácteis e de aparência. Estes fios podem formar fios muito finos [8].

**Novelty yarns** – São fios cuja principal função é decorativa e não funcional. Não são tipicamente usados exclusivamente na produção de tecidos. Estes fios são caracterizados por efeitos periódicos e abruptos, que normalmente são formados por variações na frequência da torção. Como exemplo deste tipo de fios, a Figura 2.11 apresenta dois efeitos possíveis [8].

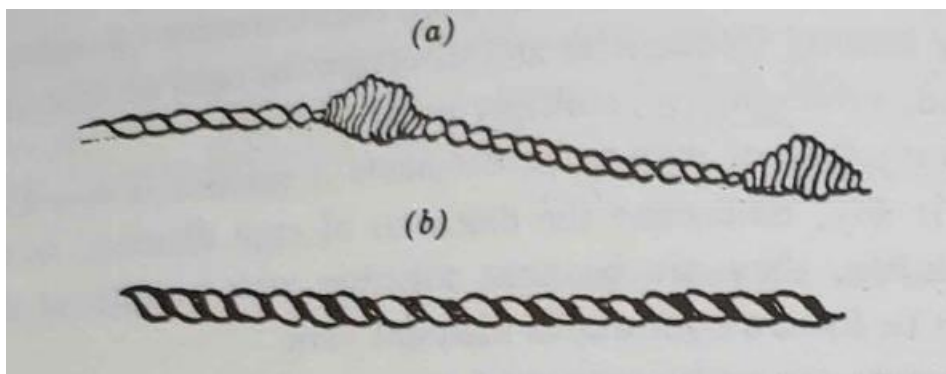


Figura 2.11 - a) Representação de fio com efeito de semente. b) Representação de fio com efeito espiral [8]

**High-bulk yarns** – Estes fios são fios de tipo *staple* ou de filamento contínuo, mas com um volume anormalmente grande e uma aparência cheia, com um peso reduzido. Este tipo de fio retém essas propriedades quer esteja sob carga ou não [8].

**Fios de uso especial** – São fios cuja utilização é puramente funcional. São criados para terem um determinado desempenho sob condições específicas. Não possuem boas qualidades tácteis e visuais. Alguns exemplos: fio elástico, fio de aço, fio de vidro [8].

**Stretch Yarns** – Estes são fios cuja estrutura lhes permite esticar entre uma e meia a duas vezes o seu comprimento normal, por vezes até três ou quatro vezes. Estes fios são não só extensíveis, mas também elásticos, significando que retornam completamente à sua geometria original. No seu estado relaxado estes fios assemelham-se a fios *high-bulk* e no seu estado esticado assemelham-se a fios de filamento contínuo. Os *stretch yarns* não devem ser confundidos com fios elastoméricos ou de borracha, já que esses são fios de uso especial [8].

### *Materiais das fibras têxteis*

As fibras têxteis dividem-se em dois grandes grupos: naturais e artificiais. As fibras têxteis naturais subdividem-se ainda em [8]:

- Animais (exemplo: lã, seda, pelo)
- Vegetais (exemplo: algodão, linho, coco)
- Minerais (exemplo: amianto<sup>1</sup>)

As fibra têxteis artificiais subdividem-se em [8]:

- Polímeros naturais (exemplo: celulose, borracha natural)
- Polímeros sintéticos (exemplo: poliéster, nylon)
- Fibras refratárias (exemplo: carbono, vidro, óxido metálico)

### *Propriedades do fio*

As propriedades físicas e mecânicas dos fios determinam o seu comportamento à tração, flexão e torção e ainda o atrito, elasticidade e outras características importantes para a manipulação e movimento correto do fio [9][10]. Nesta subsecção serão apresentadas as propriedades consideradas mais relevantes, sendo elas:

1. Densidade linear

---

<sup>1</sup> Atualmente em desuso devido a graves riscos para a saúde.

2. Resistência
3. Tensão
4. Comportamento à tração
5. Torção
6. Elasticidade
7. Atrito
8. Irregularidade
9. Pilosidade

### **Densidade Linear**

A densidade linear do fio, também conhecida por contagem do fio, número do fio, fineza do fio, tamanho do fio e título do fio, é um termo científico usado na indústria têxtil. A densidade linear do fio é definida como a massa ou peso por unidade de comprimento, em vez de ser caracterizada pelo diâmetro do fio ou pela densidade volumétrica. Isto deve-se ao facto de que o fio têxtil não possuir um diâmetro ou secção transversal constante, apresentando muitas irregularidades [8][10].

A densidade linear do fio pode ser também expressa tanto em termos de massa por unidade de comprimento (sistemas diretos) como em termos de comprimento por unidade de massa (sistemas indiretos). As Equações (2.1) e (2.2) apresentam, respetivamente, as fórmulas de cálculo da densidade linear pelo método direto e indireto [10].

$$N = \frac{w \times l}{L} \quad (2.1)$$

N – densidade linear do fio; w – massa da amostra; L – comprimento da amostra; l – unidade de comprimento do sistema [10].

$$N = \frac{L * \omega}{l * w} \quad (2.2)$$

$\omega$  – unidade de massa do sistema [10]

Os sistemas diretos mais relevantes são o *Tex* e o *Denier*, sendo que a Organização Internacional de Normalização (ISO) recomenda a adoção do sistema *Tex* [10].

A Tabela 2.1 apresenta os valores das constantes para os dois sistemas referidos [10].

Tabela 2.1 - Constantes associadas aos sistemas diretos *Tex* e *Denier*

| Sistema direto | Unidade de Massa | Unidade de comprimento (l) |
|----------------|------------------|----------------------------|
| <i>Tex</i>     | grama            | 1000 metros                |
| <i>Denier</i>  | grama            | 9000 metros                |

A Tabela 2.2 apresenta as contantes associadas aos sistemas indiretos mais relevantes, o sistema métrico e o sistema inglês.

Tabela 2.2 - Constantes associadas aos sistemas indiretos *Métrico* e *Inglês*

| Sistema direto | Unidade de Massa | Unidade de comprimento (l) |
|----------------|------------------|----------------------------|
| Métrico (Nm)   | quilograma       | 1000 metros                |
| Inglês (Ne)    | libra            | 840 jardas                 |

## Resistência

A resistência do fio é medida pela sua tenacidade. A tenacidade é a razão entre a resistência, expressa em unidades de força (tipicamente daN) e a densidade linear do fio (tipicamente em *Tex*). O alongamento à rotura é expresso em percentagem. Na Tabela 2.3 são apresentados os valores de tenacidade e alongamento de rotura, para os dois tipos de fios que serão usados no projeto [10].

Tabela 2.3 - Valores de tenacidade e alongamento de rotura para fios de materiais diferentes

| Material do Fio                  | Tenacidade (gf/ <i>Tex</i> ) | Alongamento de Rotura (%) |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Algodão                          | 20 - 25                      | 7 - 10                    |
| Poliéster ( <i>staple yarn</i> ) | 35 - 45                      | 11 - 15                   |

## Tensão

A tensão é a razão entre a força aplicada e a área de secção do fio. Como a área de secção dos fios é difícil de medir, o mais comum é substituí-la pela densidade linear, passando assim a ser ‘tensão massa’, expressa em newtons/ *Tex* [10].

Outro conceito também ligado à tensão do fio é o conceito de ‘comprimento de rotura’, este é o “comprimento teórico dum fio que se fosse suspenso por uma das suas extremidades romperia sob a ação do seu próprio peso” (M. Araújo, E. Castro, 1987, [10]), ou seja, o comprimento de rotura é o comprimento de fio, cujo peso é equivalente à força de rotura. Este comprimento é geralmente expresso em km e também é designado por resistência quilométrica (R K M) [10].

## Comportamento à Tração

Os materiais têxteis, como a generalidade dos materiais, possuem um comportamento à tração que não é completamente linear. Na Figura 2.12 vê-se o diagrama de tensão massa/alongamento de um fio têxtil, e como é evidente, este possui uma variação do alongamento em função da carga aplicada com duas secções distintas. Primeiramente, do lado esquerdo do gráfico observa-se uma relação linear entre a tensão massa e o alongamento (região elástica), indicando que o material se comporta segundo a lei de Hooke. Do lado direito do gráfico, observa-se que o contínuo aumento da carga resulta na transição da região elástica para a região plástica, sendo possível grandes alongamentos com pequenos aumentos da carga, e não sendo possível a recuperação desse alongamento. Posteriormente dá se a rotura [10].

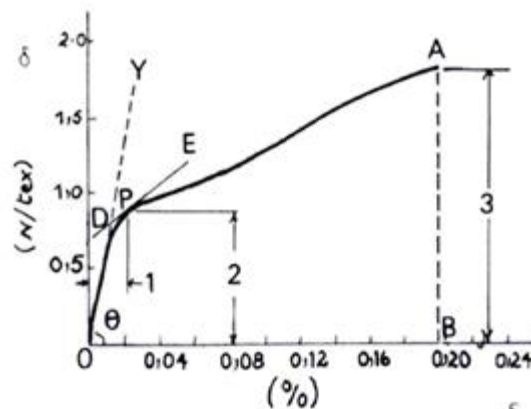


Figura 2.12 - Diagrama tensão massa - alongamento para um fio têxtil [10]

A resistência à tração de um fio está ligada às características das fibras que o constituem, principalmente o atrito que lhes está associado. Outro fator que influencia o comportamento à tração é a torção aplicada na formação do fio, já que esta contribui para a adesão entre as fibras. À medida que a torção do fio aumenta, a sua resistência à tração também aumenta, até um determinado ponto de torção ótima. A partir desse valor máximo a resistência volta a diminuir [10].

Outro fator importante é a irregularidade do fio, visto que o seu aumento resulta numa maior probabilidade de pontos fracos presentes no fio, conduzindo a um fio com menor resistência [10].

## Torção

A torção é a rotação relativa das extremidades do fio. Num fio em que se tenha aplicado uma torção, as fibras formam uma espiral em torno do eixo do fio. Num fio sem torção as fibras seriam paralelas ao eixo do fio. A torção pode ainda ser caracterizada pelo sentido da rotação que é aplicada, sendo utilizadas as letras S e Z para indicar esse sentido, como é visível na Figura 2.13 [8].

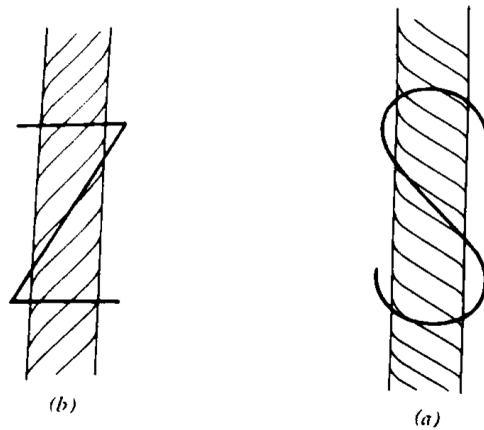


Figura 2.13 - a) Exemplo de torção em S; b) Exemplo de torção em Z [8]

### Tipo de enrolamento

As bobines são tipicamente enroladas de duas maneiras, com o fio paralelo, ou com o fio cruzado (Figura 2.14). As bobines enroladas com fio paralelo são enroladas de modo que cada volta de fio colocada está encostada à anterior. Este é o método mais antigo e mais simples de enrolar ordeiramente e as bobines geradas têm normalmente flanges paralelas dos dois lados para as suportar, visto que este método de enrolamento não lhes confere estabilidade [9].

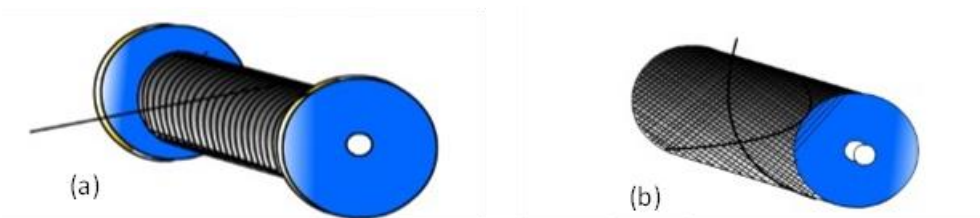


Figura 2.14 - a) Enrolamento em paralelo; b) Enrolamento cruzado [11]

As bobines enroladas com fio cruzado, tipicamente cilíndricas ou cónicas, formam-se enrolando o fio com um ângulo de enrolamento de, normalmente,  $10^\circ$  a  $20^\circ$ . Isto resulta com que o fio seja enrolado com grande distanciamento de uma volta para a seguinte, e chegando ao lado oposto, a hélice formada pelo fio inverte e cruza-se com a hélice anterior [9].

### Ângulo de enrolamento

“O ângulo de enrolamento é definido como o ângulo entre a direção instantânea de fio enrolado na bobine com qualquer plano perpendicular ao eixo da bobine.” (M. Koranne, 2013, traduzido) (Figura 2.15) [9].



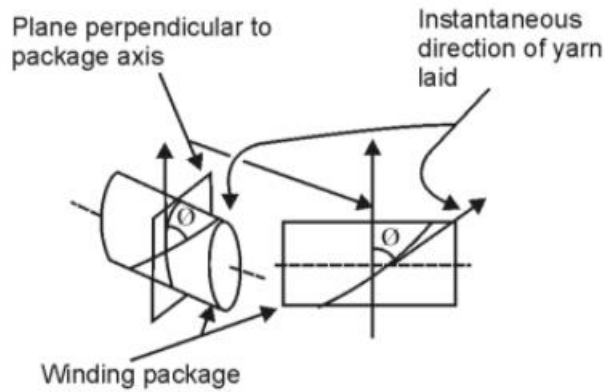


Figura 2.15 - Ângulo de Enrolamento [9]

### Ângulo de cone

Ângulo de cone é definido como o ângulo entre o eixo do cone e o lado do cone. Tipicamente varia entre  $0^\circ$  (embalagem cilíndrica) e  $9^\circ 15'$  (Figura 2.16).

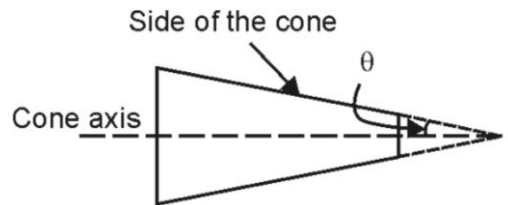


Figura 2.16 - Ângulo de cone [9]

### Rácio de travessia

É o número de voltas de fio enrolado durante uma dupla travessia, ou seja, o número de voltas enroladas durante o movimento do fio desde a base até ao topo e de novo até a base da bobine. Na Figura 2.17, o rácio de travessia é 2.5, porque o completa 2.5 voltas de A até C e depois até E.

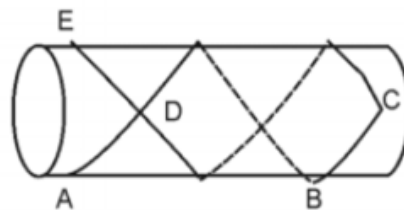


Figura 2.17 - Rácio de travessia [9]

### 2.2.2 Sistemas de Desenrolamento de Fio

Há duas maneiras de desenrolar fio a partir de uma bobine, o fio pode ser retirado pelo topo ou pelo lado. Ver Figura 2.18 para representação esquemática dos dois modos.

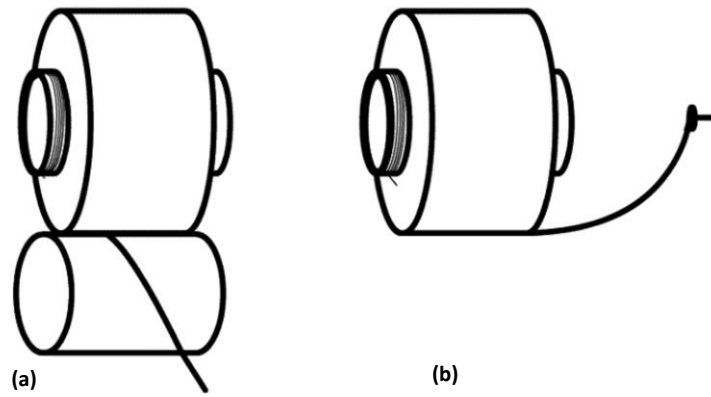


Figura 2.18 - a) Desenrolamento pelo Lado; b) Desenrolamento pelo topo [9]

### Desenrolamento pelo Lado

No desenrolamento pelo lado, a bobine tem de girar para permitir o retirar do fio. Este tipo de desenrolamento está associado a algumas vantagens e desvantagens [12][13]:

Vantagens:

- A torção do fio não é alterada;
- O fio sai da bobine ordeiramente, sem a formação de um balão.

Desvantagens:

- Requer rotação da bobine e, portanto, é mais caro;
- Devido à inercia da bobine é mais difícil ajustar a velocidade e parar;
- Limitado a baixas velocidades.

### Desenrolamento pelo Topo

No desenrolamento pelo topo, a bobine está estacionária e o fio é puxado através de uma guia de fio localizada no eixo da bobine. A Figura 2.19 mostra este processo para uma bobine cônica e uma bobine cilíndrica.

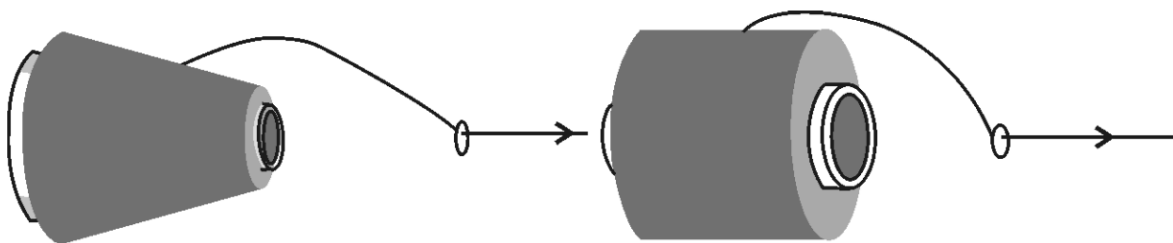


Figura 2.19 - Desenrolamento pelo topo em bobine cônica e bobine cilíndrica [9]

Este modo de desenrolamento também tem as suas vantagens e desvantagens [12][13]:

Vantagens:

- Altas velocidades de desenrolamento;
- Como a única massa em movimento é o fio, a paragem é quase instantânea
- Mais simples e barato.

Desvantagens:

- Formação de um balão pela inércia do fio;
- Alteração da torção do fio

Há um conjunto de fatores que influenciam este tipo de desenrolamento, sendo eles:

- Altura da guia de fio [14];
- Ângulo de Cone [14];
- Formação de balão [9][14];
- Arrastamento do fio [14];
- Diâmetro da bobine de fio [9][14];
- Densidade linear do fio [14];
- Velocidade de desenrolamento [9][14][15];
- Ângulo de enrolamento do fio [9][15];
- Natureza da superfície do fio [14].

Todos estes fatores terão influência na flutuação de tensões a que o fio está sujeito. Essas tensões terão impacto nas vibrações do próprio fio no resto do seu percurso. Na máquina deste projeto, um dos objetivos é minimizar as vibrações do fio para que a câmara possa tirar imagens de alta qualidade para posterior análise. Destes fatores, o ângulo de cone, o diâmetro da bobine, a densidade linear do fio, a velocidade de desenrolamento, o ângulo de enrolamento e a natureza da superfície do fio são variáveis sobre as quais não temos controlo, pois são impostas pelos objetivos a cumprir, a formação de balão e o arrastamento de fio são fenómenos que acontecem em consequência destes fatores. O único fator sobre o qual temos controlo é a altura da guia de fio.

### **Altura da guia de fio**

Um dos mais simples e mais cruciais fatores para um bom desenrolamento pelo topo é a altura da guia. Como é possível ver na Figura 2.20, para uma qualquer bobine cónica existe um ponto chamado altura de apex, que representa o ponto em que a geratriz do cone intersesta o eixo do cone. Para uma

guia colocada a esta altura ou abaixo, ocorre o risco de o fio retirado raspar na superfície da bobine, portanto é importante garantir que a altura da guia de fio seja superior à altura apex [14].

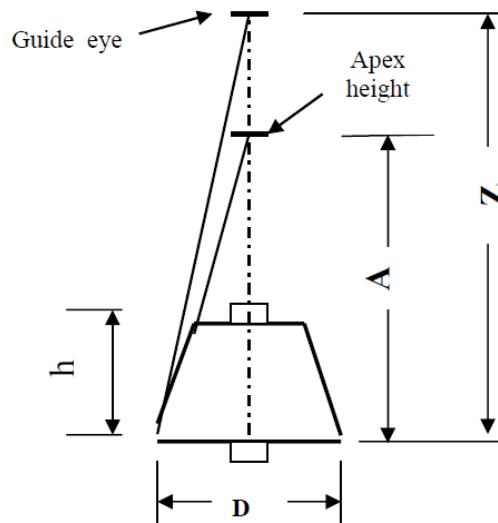


Figura 2.20 - Diagrama representativo de desenrolamento pelo topo num cone a baixas velocidades [14]

No entanto, para velocidades elevadas, como o fio sai projetado para fora da bobine devido a acelerações centrípetas, esta altura é menos relevante, pois o fio não percorre uma trajetória de linha reta entre o ponto em que levanta da bobine e a guia de fio, mas sim um arco afastado da superfície da bobine e, portanto, há menos chances de o fio raspar na superfície da bobine (Figura 2.21) [14].

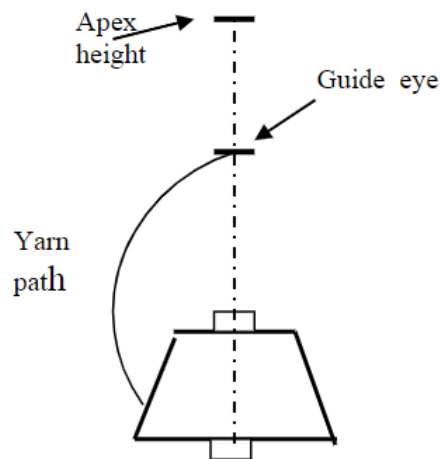


Figura 2.21 - Diagrama representativo de desenrolamento pelo topo num cone a altas velocidades [14]

### 2.2.3 Sistemas de Condução de Fio

Há essencialmente duas maneiras de desviar o percurso do fio para definir a sua trajetória, sendo elas o uso de guias ou o uso de roldanas (Figura 2.22).

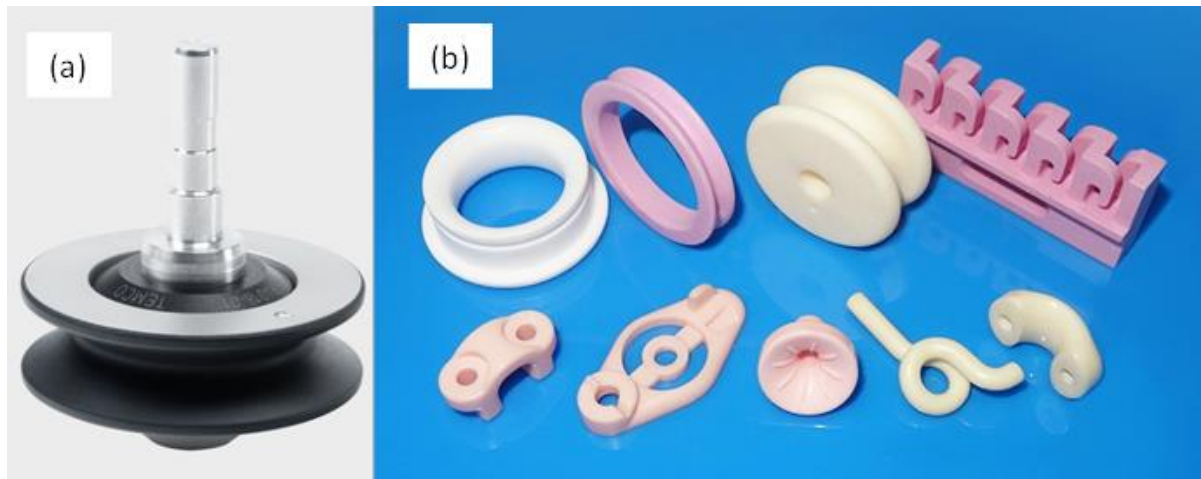


Figura 2.22 - a) Roldana [16]; b) Diversas guias de fio [17]

### *Roldanas*

As roldanas desviam o fio ao mesmo tempo que rolam em sincronia com a velocidade do fio, o que significa que provocam muito pouco atrito entre o fio e a roldana e dessa forma também provocam muito pouca perda de tensão no fio. Estas duas características combinadas resultam num desvio do fio bastante suave em comparação com guias de fio. Outras vantagens das roldanas são a facilidade de colocação do fio e a durabilidade das roldanas devido ao baixo atrito [18].

### *Guias de fio*

As guias de fio, ao contrário das roldanas, são estáticas, portanto provocam necessariamente atrito com o fio. É importante minimizar esse atrito, seja pela escolha adequada da geometria da guia, do material, e ainda do acabamento superficial pois as guias têm um papel significativo na transferência de torção, controlo do efeito de balão, na redução da pilosidade e de quebras, contribuindo para o controlo de qualidade do fio [19].

Devido à grande variedade de geometrias para guias de fio, a sua principal vantagem é o preciso posicionamento do fio que é possível obter [20].

### **Material das guias**

Os materiais das guias de fio são geralmente cerâmicos devido às suas propriedades tribológicas, nomeadamente a resistência ao desgaste e o baixo atrito. Por vezes as guias de fio podem ser constituídas por aço inoxidável, mas estas são menos duradouras. Os principais materiais utilizados são [21][22]:

- Alumina - 95-99.7% pura;

- Alumina - 85% pura;
- Óxido de titânio – 90% puro;
- Aço Inoxidável.

#### 2.2.4 Sistemas de Enrolamento de Fio

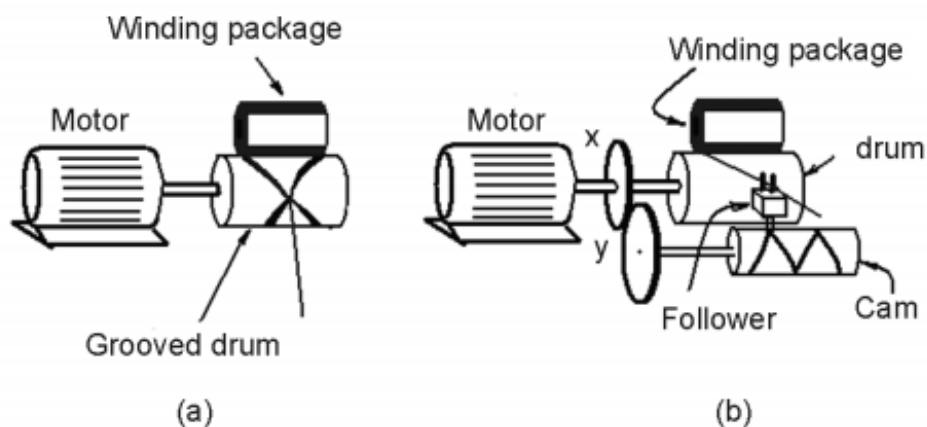
##### *Tipos de enrolamento*

Os tipos de enrolamento podem ser divididos em três, sendo eles:

- Enrolamento movido por atrito, também conhecido por enrolamento aleatório;
- Enrolamento movido pelo eixo também conhecido por enrolamento de precisão;
- Enrolamento de precisão por passos, também conhecido por enrolamento híbrido.

##### **Enrolamento Aleatório**

No enrolamento aleatório, a bobine é movida por um cilindro motorizado através do atrito resultante do contacto superficial. A travessia do fio pode ser dada por ranhuras presentes no próprio cilindro ou por um guia de fio recíproco. No caso do cilindro ranhurado, o cilindro realiza a dupla função de mover a bobine por atrito e fazer o movimento da travessia do fio. Quando é usado um cilindro sem ranhuras, o cilindro apenas tem a função de mover a bobine enquanto que a travessia do fio é realizada por uma guia recíproca (ver Figura 2.23). Uma característica do enrolamento aleatório é que a razão entre a velocidade tangencial da bobine e a velocidade transversal do fio é constante. O que significa que o ângulo de enrolamento também é constante, no entanto o rácio de travessia diminui à medida que a bobine aumenta o seu diâmetro [1].



*Figura 2.23 - a) Enrolamento aleatório com cilindro ranhurado; b) Enrolamento aleatório com cilindro plano e guia recíproca [9].*

A diminuição do rácio de travessia leva à formação de sobreposições desordeiras de fio criando a aparência de padrões na superfície da bobine [1].

## Enrolamento de Precisão

No enrolamento de precisão, a bobine é movida pelo próprio eixo, estando ligado ao motor diretamente ou por um sistema de engrenagens. Sendo a velocidade angular constante, então a velocidade superficial da bobine irá aumentar com o aumento do diâmetro da bobine (sistemas de enrolamento de precisão contantes). Se a velocidade superficial da bobine for demasiado alta, a bobine pode sofrer acelerações centrífugas demasiado elevadas que podem causar danos à bobine. Há, portanto, sistemas capazes de regular a velocidade angular da bobine para garantir que a velocidade superficial da bobine permanece constante (sistemas de enrolamento de precisão variáveis) (ver Figura 2.24) [1].

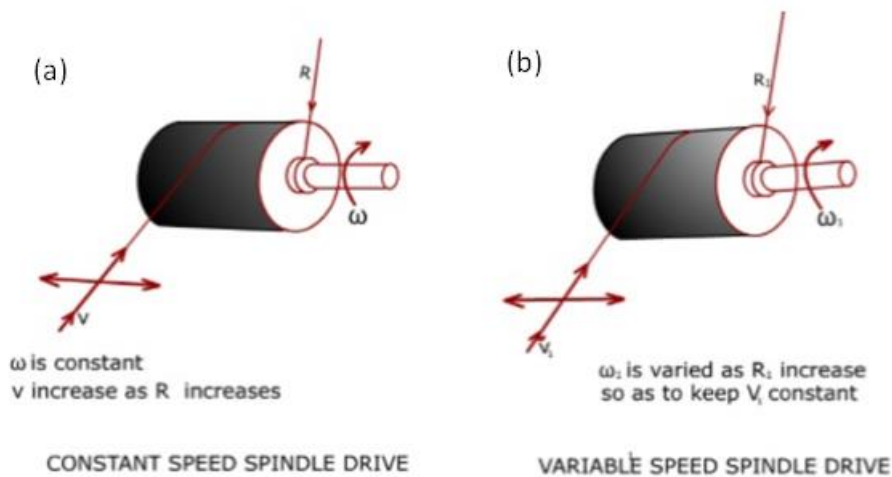


Figura 2.24 - Enrolamento de precisão com: a) Velocidade constante; b) Velocidade variável [23]

Estes sistemas de enrolamento movidos pelo eixo são também chamados de sistemas de enrolamento de precisão pois o rácio entre a velocidade angular da bobine e a velocidade transversal do fio é constante. Isto significa que o rácio de travessia é mantido constante em toda a bobine, no entanto, à medida que o diâmetro da bobine aumenta, o ângulo de enrolamento diminui (ver Figura 2.25) [1].

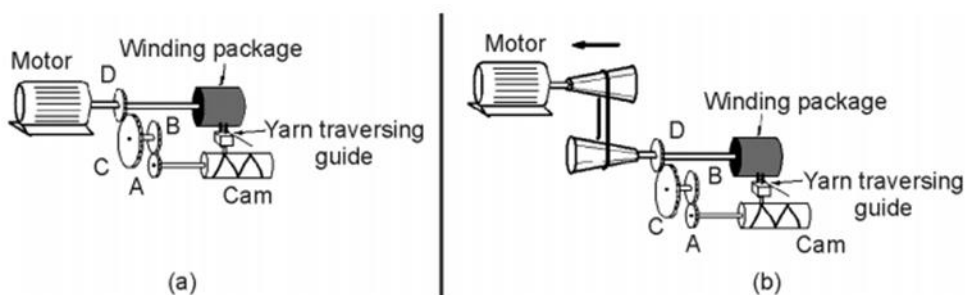


Figura 2.25 - Sistemas de enrolamento de precisão, a) Velocidade constante; b) Velocidade variável [9].

## Enrolamento de Precisão por passos

Este tipo de enrolamento é uma mistura dos dois anteriores, também conhecido por sistema de enrolamento híbrido, que combina o melhor de cada parte. Este sistema possui várias fases durante o enrolamento (passos), onde o rácio de travessia é mantido constante em cada fase até o ângulo de enrolamento variar uma determinada quantidade. Seguidamente, um novo passo inicia com um rácio de travessia diferente, de modo que o ângulo de enrolamento seja igual ao qual começou (ver Figura 2.26). Este método evita o efeito de padrão à superfície da bobine causado por determinados rácios de travessia presentes no tipo de enrolamento aleatório, enquanto que impede o ângulo e enrolamento de variar tanto quanto varia no modo de precisão [1].

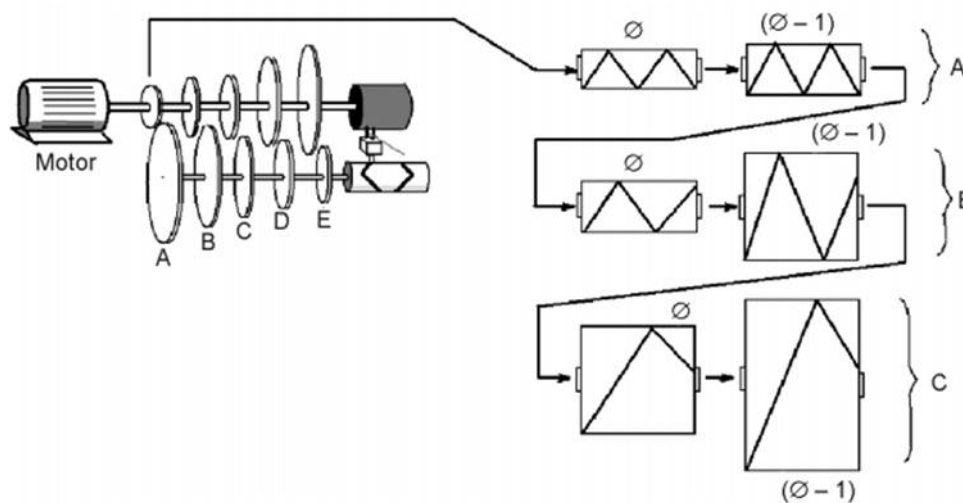


Figura 2.26 - Método de enrolamento por passos [9].

## Vantagens e Desvantagens

Enrolamento aleatório [9]:

Vantagens:

- Ângulo de enrolamento constante leva a bobine de densidade uniforme;
- Suporta bobines de grande diâmetro pois a velocidade superficial é constante;
- Sistema mais simples e de fácil manutenção. É o método mais económico.

Desvantagens:

- Ocorrência de efeito de padrão à superfície, o que pode gerar problemas no desenrolamento e até quebra de fio;
- A densidade da bobine é 20-25% mais baixa do que no enrolamento de precisão.

Enrolamento de precisão [9]:



Vantagens:

- Devido à inexistência do efeito de padrão este tipo de enrolamento gera boas propriedades de desenrolamento;
- As propriedades desejadas da embalagem podem ser obtidas selecionando o rácio de travessia adequado.

Desvantagens:

- Diâmetros máximos limitados devido a aumento da velocidade superficial;
- Aumento da densidade da embalagem à medida que o diâmetro aumenta;
- Custo normalmente mais elevado do que sistemas de enrolamento aleatório.

Enrolamento de precisão por passos [9]:

Vantagens:

- As bobines não sofrem do efeito de padrão;
- As propriedades desejadas da bobine podem ser obtidas através da seleção dos ângulos de enrolamento e rácios de travessia em cada passo.

Desvantagens:

- Custo elevado.

### *Sistemas Existentes*

Os sistemas de enrolamento existentes são largamente baseados nos tipos de enrolamento abordados anteriormente, com a exceção de um, o sistema flexível, que irei de seguida explicar. Os diferentes sistemas de enrolamento existentes são:

- Sistemas de enrolamento aleatório;
- Sistemas de enrolamento de precisão;
- Sistemas de enrolamento de precisão por passos;
- Sistemas flexíveis.

### **Sistemas Flexíveis**

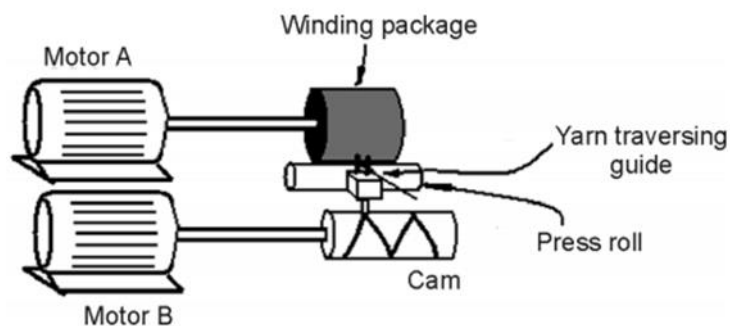
Sistemas flexíveis são sistemas que recorrem ao uso de computadores, sensores e diversos componentes eletrónicos que permitem o controlo separado e individual da movimentação da bobine e da movimentação da travessia do fio. Este controlo oferece vantagens como a capacidade de enrolar bobines com ângulo de enrolamento continuamente crescente ou decrescente, enrolar de modo

aleatório, mas especificamente evitando os raios de travessia que provocam efeito de padrão na bobine, enrolar bobines com arestas arredondadas ou bobines bicônicas, ou outras vantagens que permitem melhor tintura [9].

Dentro dos sistemas flexíveis, os três principais tipos são [9]:

- Sistema de enrolamento movido na bobine e no guia transversal;
- Sistema de enrolamento movido na bobine e com elemento transversal recíproco;
- Sistemas de enrolamento movidos por atrito.

### **Sistema de enrolamento movido na bobine e no guia transversal**



*Figura 2.27 - Sistema de enrolamento aleatório movido na bobine e no guia transversal [9]*

Neste sistema (ver Figura 2.27), um rolo de pressão é movido por atrito pela bobine. A velocidade tangencial da bobine e o seu diâmetro são determinados, respectivamente, pela velocidade tangencial do rolo de pressão e a distância do seu centro ao eixo da bobine [9].

### **Sistema de enrolamento movido na bobine e com elemento transversal recíproco**

Neste sistema (ver Figura 2.28) a bobine é movida diretamente pelo motor 'A', enquanto que a guia recíproca é movida através de uma correia e polias pelo motor de passo 'B'. Este mecanismo de travessia permite uma mudança programável na frequência e amplitude da travessia do fio durante o enrolamento [9].

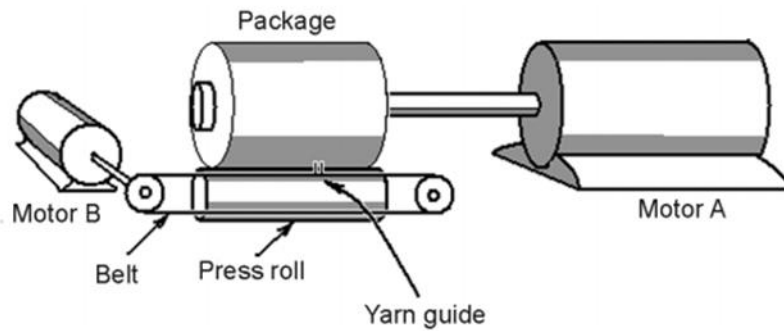


Figura 2.28 - Sistema de enrolamento flexível movido na bobine e com elemento transversal recíproco [9]

### Sistemas de enrolamento movidos por atrito

Há várias configurações possíveis para sistemas de enrolamento flexíveis movidos por atrito, duas das quais estão representadas na Figura 2.29. Na Figura 2.29(a) é mostrado um sistema em que a travessia do fio é controlada por um cilindro ranhurado onde percorre uma guia, controlado por um motor, enquanto a bobine é controlada por um outro motor. Em Figura 2.29(b), a travessia do fio é dada por uma alavanca [9].

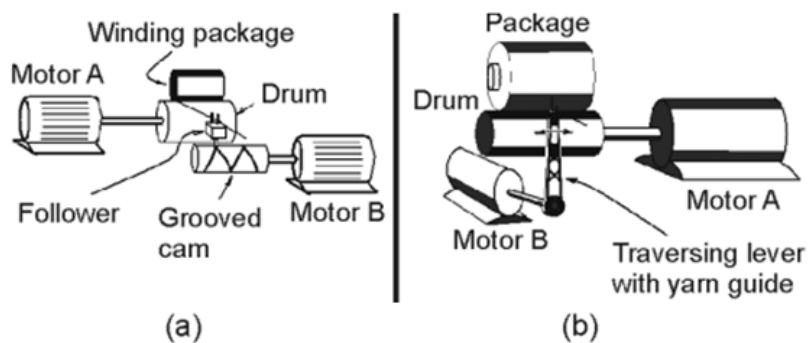


Figura 2.29 - Sistemas de enrolamento flexíveis movidos por atrito [9]

### Métodos de travessia de fio

Neste subcapítulo serão enumerados os diversos métodos de travessia de fio.

1. Travessia de fio por cilindro ranhurado (Figura 2.30) [9]

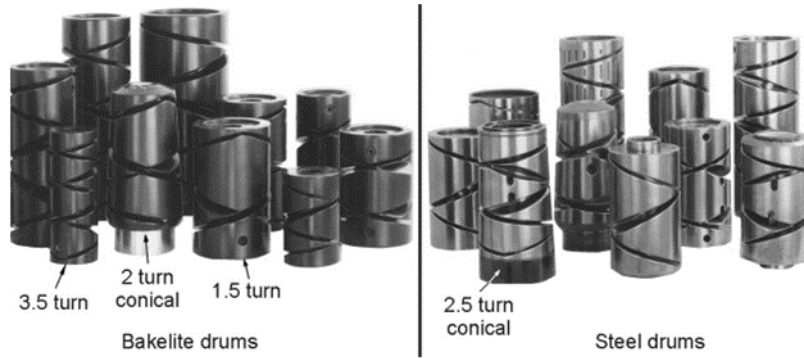


Figura 2.30 - Diversos cilindros ranhurados para bobines cónicas e cilíndricas [9]

- Travessia de fio por guia recíproca movida num cilindro ranhurado (Figura 2.31) [9]

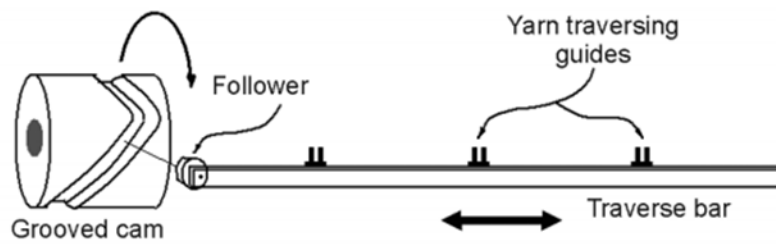


Figura 2.31 - Esquema de guia de fio recíproco por cilindro ranhurado [9]

- Travessia de fio por lâminas contra-rotativas (Figura 2.32) [9]

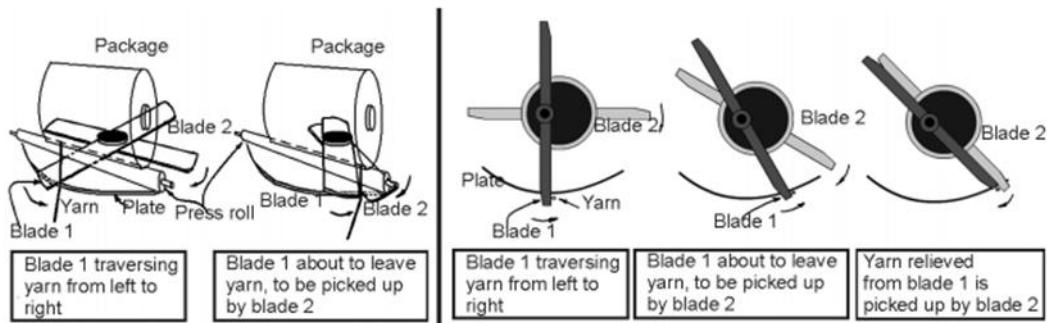


Figura 2.32 - Explicação de movimentação das lâminas contra-rotativas [9]

- Travessia de fio por fenda em cilindro (Figura 2.33) [9]

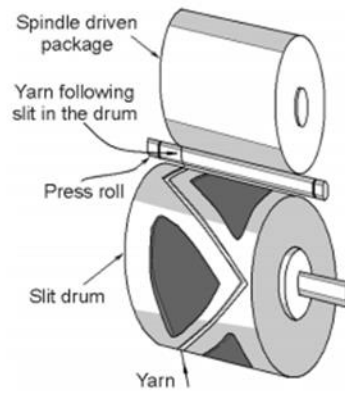


Figura 2.33 - Esquema de travessia de fio por fenda em cilindro [9]

5. Travessia de fio por guia movida por servo motor através de correia (Figura 2.34) [9]

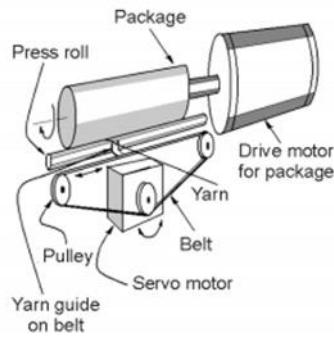


Figura 2.34 - Esquema de travessia de fio por guia movido a correia [9]

6. Travessia de fio por alavanca movida por servo motor (Figura 2.35) [9]

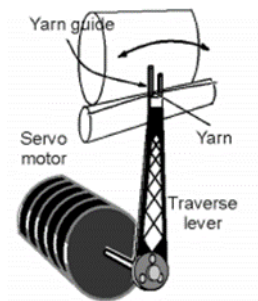


Figura 2.35 - Esquema de travessia de fio por alavanca [9]

### 2.2.5 Sistemas de Controlo de Tensão

Tensão no fio, explicado anteriormente em 2.2.1, é a razão entre a força aplicada e a área de secção do fio, ou mais comumente utilizada, a 'tensão massa' é a força aplicada pela densidade linear. Este conceito é de especial importância para o projeto pois para capturar uma imagem com qualidade do fio, este necessita de estar esticado, e não solto.

Outras razões são, por exemplo, no enrolamento, para ajudar a manter o fio nas ranhuras do cilindro ranhurado e nas diversas guias da máquina, pois se o fio não tiver tensão pode oscilar aleatoriamente para fora delas e ainda para ajudar a obter uma bobine compacta [9].

Outro aspeto importante a ter em conta é a tensão máxima aplicável ao fio. A tensão a que o fio deve estar sujeito deverá ser entre 10-12.5% da sua tensão de rotura. Acima deste valor, a tensão elevada poderá provocar pontos fracos no fio e alongamento excessivo, assim como aumentar a sua pilosidade [9].

#### *Medição de tensão*

Os dispositivos utilizados para medir a tensão aplicada no fio são normalmente dispositivos manuais (que se utilizam segurando-os com a mão), com polias dispostas de maneira que o fio exerça uma força numa delas, que será então medida.

Há três tipos de medidores de tensão, sendo normalmente divididos pela seguinte classificação:

- Dispositivos mecânicos
- Dispositivos eletrónicos
- Dispositivos eletromecânicos

#### *Geração de tensão*

Tensão no fio é gerada sempre que ocorre uma resistência ao seu movimento. Acelerações no desenrolamento, atrito com o ar e com as guias são exemplos das resistências a que o fio está sujeito. Por vezes essa tensão não é suficiente, portanto existem métodos de gerar tensão no fio. Alguns desses métodos são também capazes de modular a resistência que oferecem numa tentativa de homogeneizar as tensões a que o fio está sujeito.

Os dispositivos capazes de controlar a tensão no fio podem ser classificados como sendo manuais ou automáticos. Dentro dos manuais encontram-se os dispositivos a que se chamam de tensionadores, sendo estes subdivididos em quatro tipos, segundo a Figura 2.36.

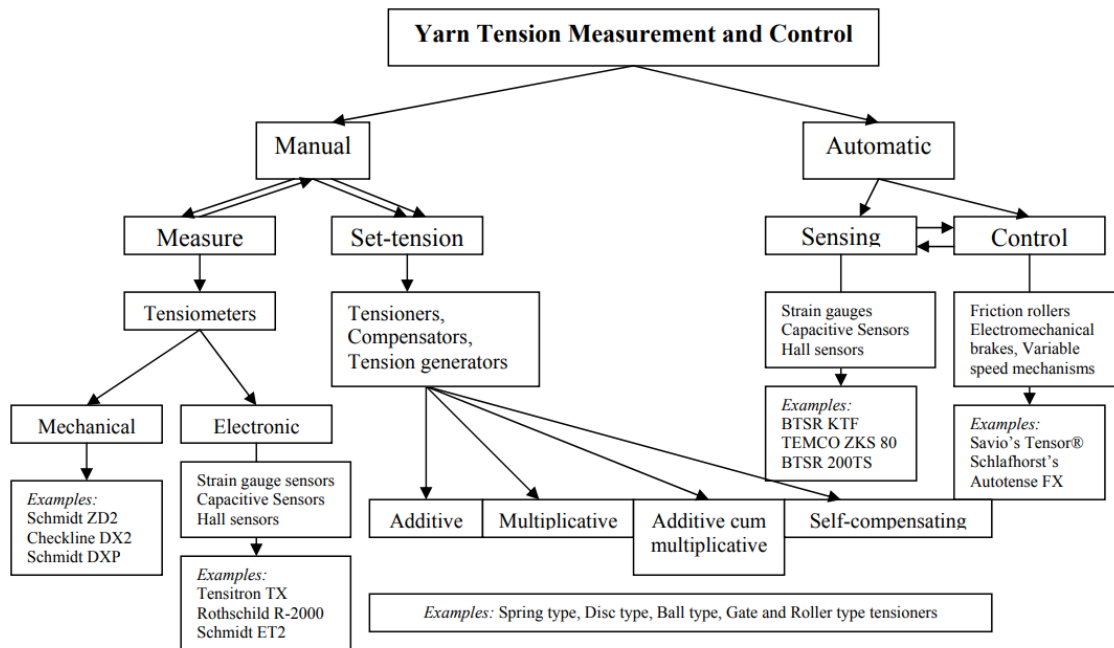


Figura 2.36 – Dispositivos de medição e controlo de tensão [24]

## Tensionadores

Os tensionadores estão divididos em quatro tipos:

- Aditivos
- Multiplicativos
- Aditivos e multiplicativos
- Auto-compensadores

Os tensionadores aditivos são dispositivos que adicionam uma quantidade constante de tensão ao fio que entra. Essa tensão é produzida por atrito. Algumas configurações de tensores aditivos são visíveis na Figura 2.37 [24]. Estes tensionadores tendem a ser problemáticos na passagem de zonas de fio mais grossas pois causam picos de tensão e podem romper o fio. Outro problema está na interferência que provoca à torção no fio e na acumulação de pilosidade. No entanto, são de fácil utilização [9].

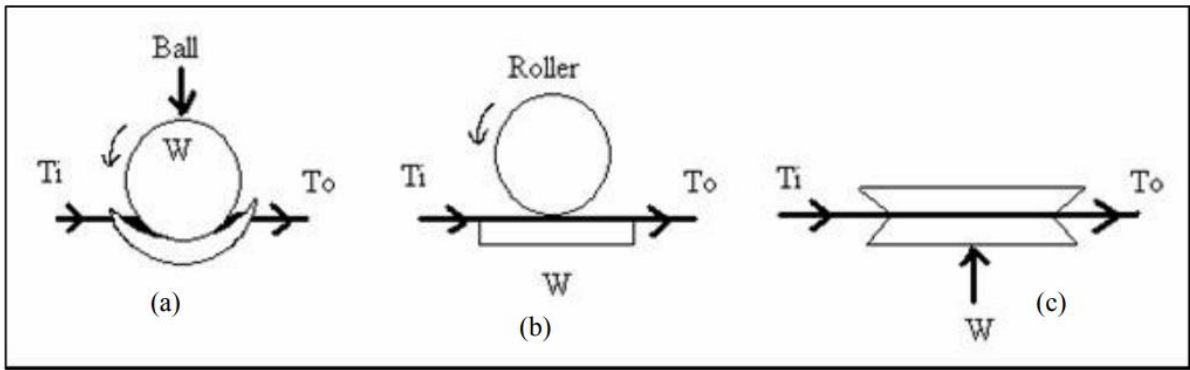


Figura 2.37 - Tensionadores aditivos [25]

Os tensionadores multiplicativos operam multiplicando a tensão de entrada do fio, através do atrito formado pelo passar do fio envolta de uma superfície. A fórmula de cálculo da tensão aplicada é a mesma da fórmula de *Capstan*. Estes tensionadores são melhores a lidar com irregularidades no fio do que tensores aditivos. Exemplo destes tensionadores na Figura 2.38. Algumas das suas características são que podem ser autocompensadores, mas apenas para baixas frequências de oscilações de tensão, não provocam picos de tensão no aparecimento de zonas mais grossas, também são fáceis de usar, acumulam menos pilosidade, e a aplicação de tensão é gradual [9].

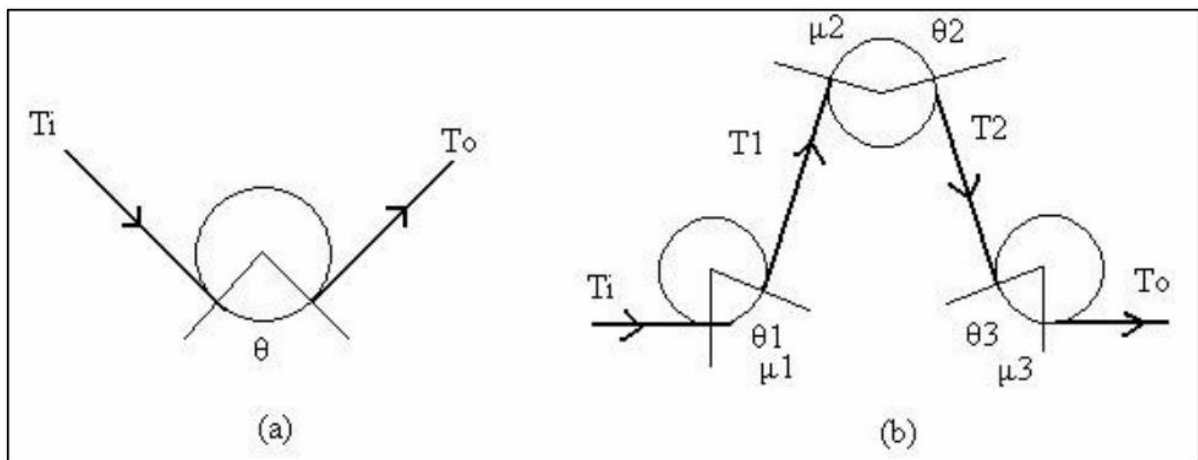


Figura 2.38 - Tensionadores multiplicativos [25]

Os tensionadores aditivos e multiplicativos combinam as características desses dois tipos de tensionadores (ver Figura 2.39).



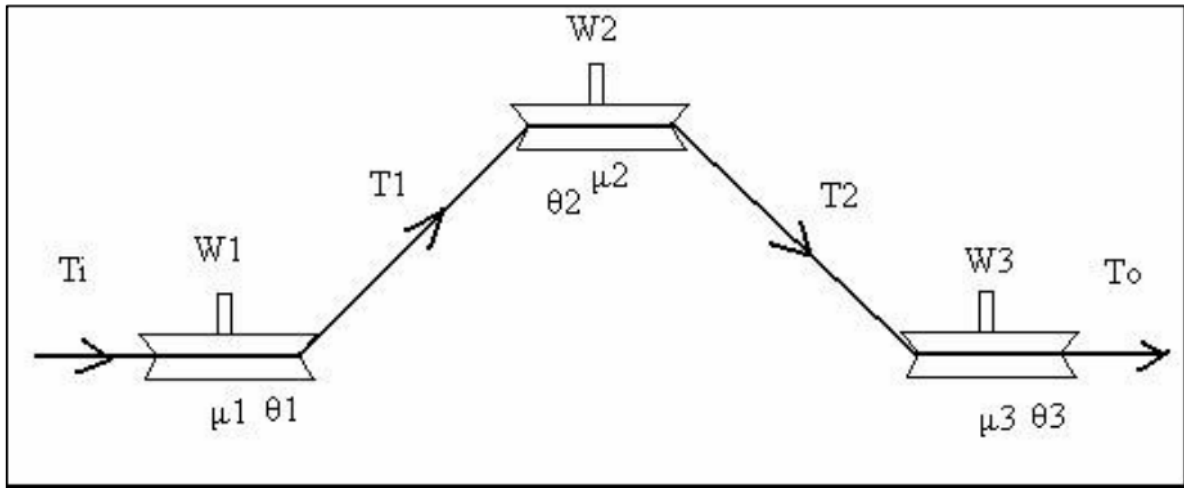


Figura 2.39 - Tensionadores aditivos e multiplicativos [25]

Tensionadores autocompensadores são tensionadores que se ajustam automaticamente. A tensão adicionada varia de acordo com a tensão à saída. Exemplo destes tensionadores na Figura 2.40.

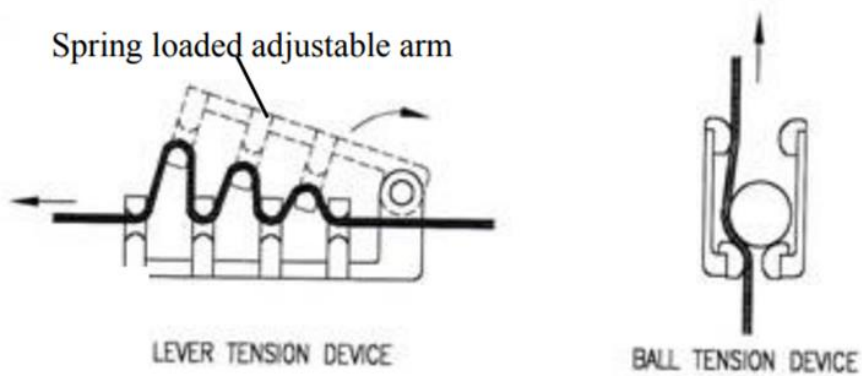


Figura 2.40 - Tensionadores autocompensadores [26]

### Dispositivos automáticos de controlo de tensão

Um dos métodos de regulação de tensão é um sistema presente na máquina *Schlafhorst Autoconer 238* em que a tensão é regulada pela variação da velocidade de enrolamento, com um sensor de tensão integrado no caminho do fio que mede a tensão [9].

Outro modo é aquele encontrado nas máquinas *Schlafhorst Autoconer 338/ 5/ X5* chamado de *Autotense FX*. Este sistema regula a tensão controlando automaticamente a tensão aplicada por um tensionador, com recurso a um sensor de tensão e um servomotor. Esquema representado na Figura 2.41 [9].

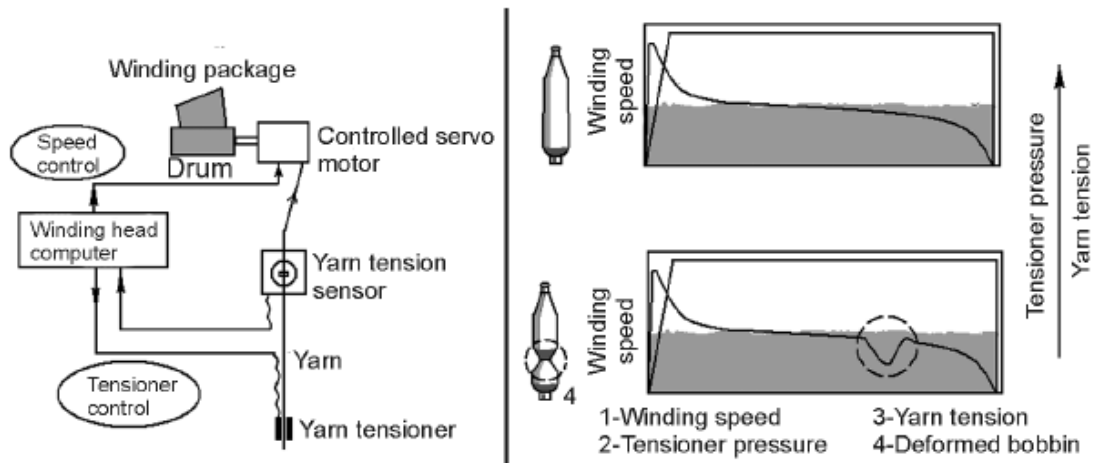


Figura 2.41 - Sistema "Autotense FX" [9]

Outro método é o de regulação de tensão através de um alimentador positivo de fio (PYF). Regulando a velocidade tangencial do alimentador positivo em relação à velocidade tangencial de enrolamento a tensão pode ser controlada. Este sistema está integrado na máquina de enrolamento da empresa *Fadis*, Figura 2.42(a). O alimentador positivo permite isolar as flutuações de tensão vindas do desenrolamento e permite também a regulação da tensão do fio que lhe segue modificando a velocidade tangencial do alimentador positivo em relação à velocidade tangencial de enrolamento. Este sistema é ótimo para fios mais frágeis pois a tensão após o alimentador positivo pode até ser nula (zero). O princípio de funcionamento é mostrado na Figura 2.42(b) e (c), sendo que a diferença é que pode ou não estar presente um tensionador. Este sistema só funciona para bobines cilíndricas [9].

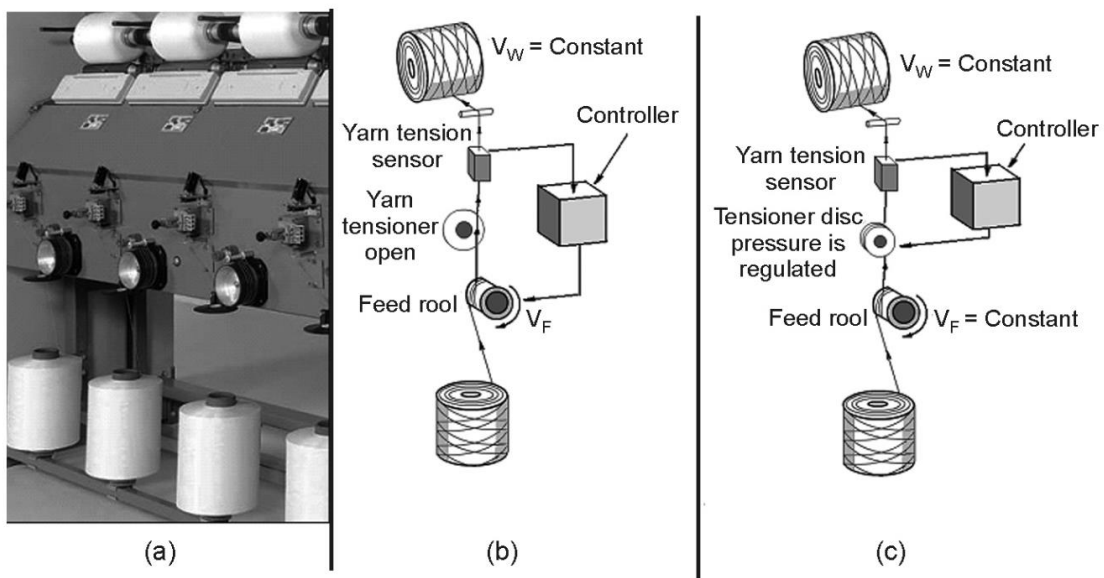


Figura 2.42 - Sistema de controlo de tensão através de alimentador positivo [9]



### **3. PROJETO CONCEPTUAL**

*Neste capítulo apresenta-se o processo seguido para a formação do conceito de solução do projeto desenvolvido. Neste capítulo são revelados os objetivos do projeto, as funções do protótipo, os processos criativos utilizados e a avaliação das soluções propostas.*

### **3.1 Clarificação de Objetivos**

Seguindo o método da árvore de objetivos os objetivos principais considerados para o projeto foram 6:

- Segurança;
- Simplicidade;
- Fiabilidade;
- Portabilidade;
- Versatilidade;
- Custo.

Estes foram depois expandidos para a seguinte árvore de objetivos (Figura 3.1).

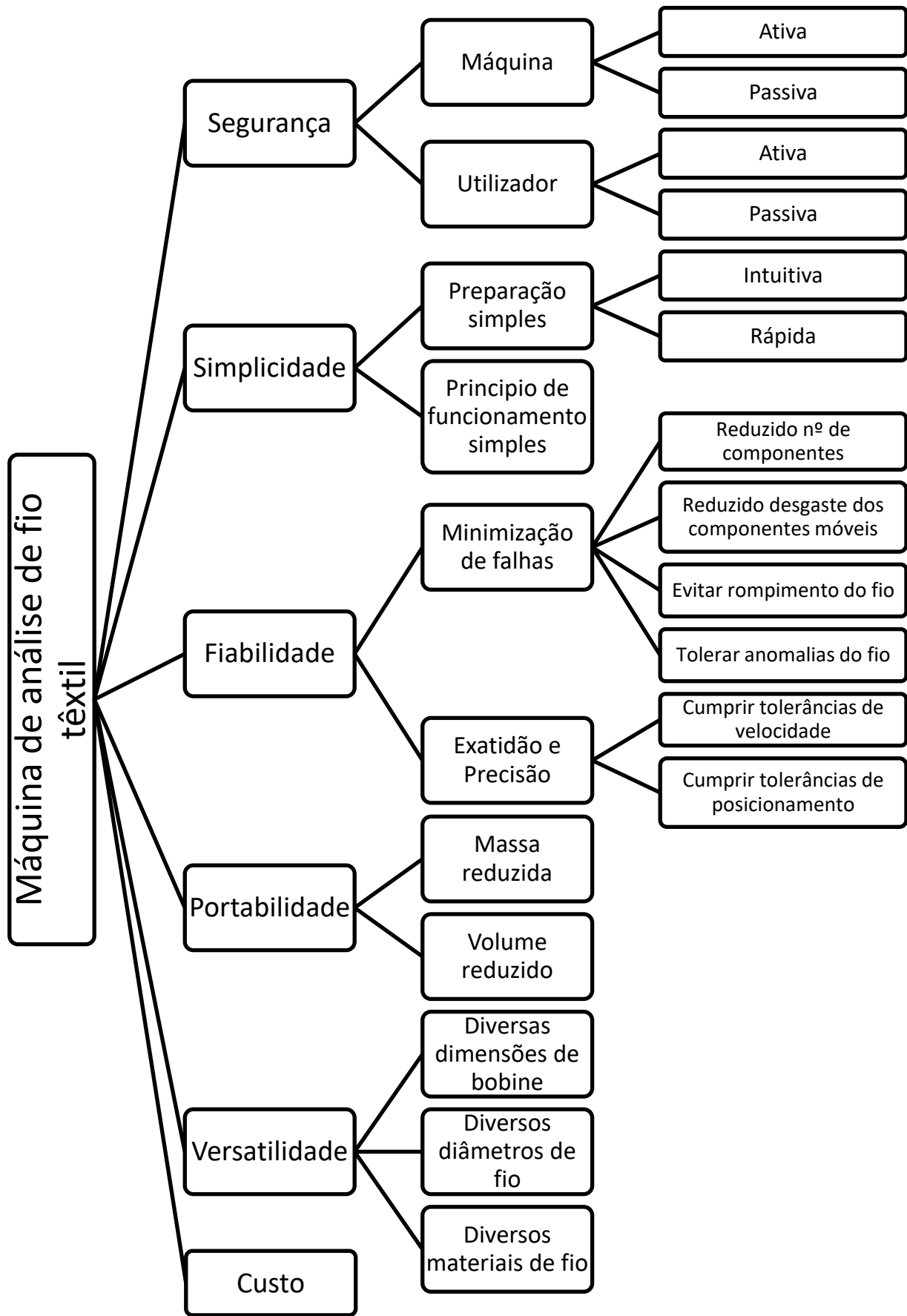


Figura 3.1 - Árvore de Objetivos do Projeto

### 3.2 Estrutura de Funções

Como foi explicado no capítulo 2.1.2. este método começa por considerar apenas as entradas e as saídas da máquina, estas são então:

- Entradas: Bobine de fio a analisar e energia;
- Saídas: Bobine de fio.

Depois, preencheram-se todas as funções que a máquina teria de realizar, sendo que as principais seriam: desenrolar o fio, conduzir controladamente o fio a velocidade constante e enrolar de novo o fio.

Daqui obteve-se o seguinte esquema da estrutura de funções (Figura 3.2).

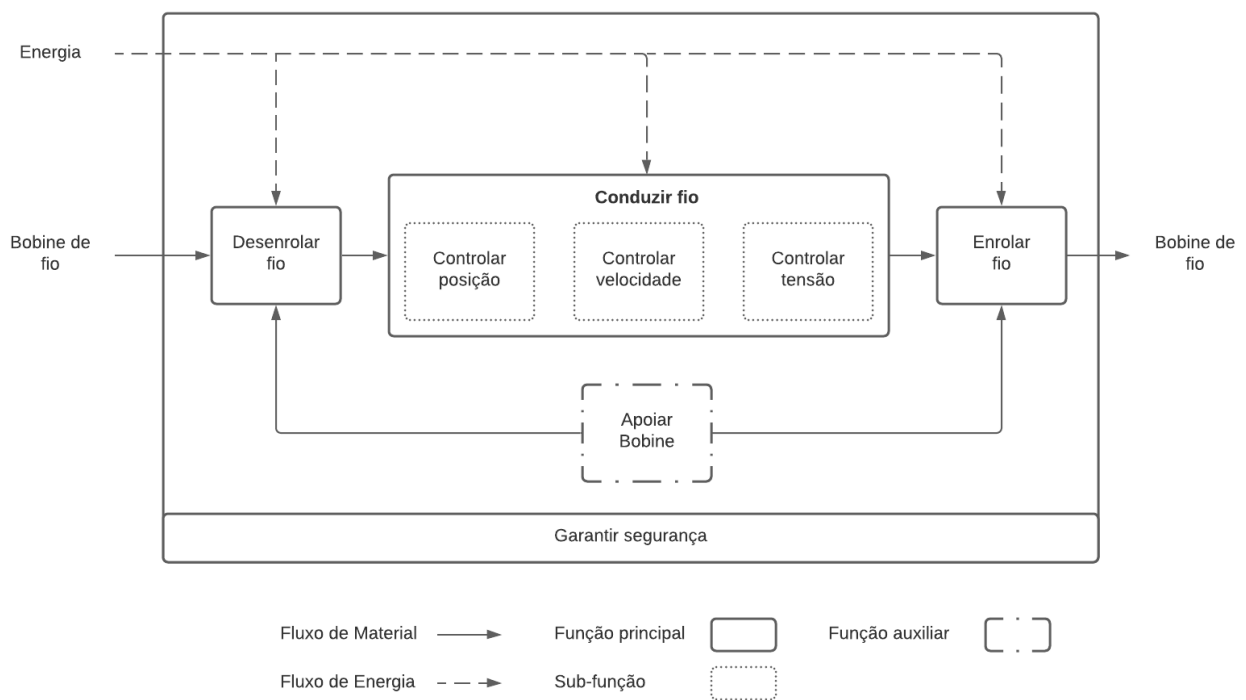


Figura 3.2 - Esquema da Estrutura de Funções da Máquina

### 3.3 Atributos e Requisitos

A partir dos objetivos foi então necessário quantificar e definir alguns parâmetros que a máquina terá de cumprir para satisfazer os objetivos. Os limites definidos, segundo o método das especificações de desempenho foram os seguintes (Tabela 3.1):

Tabela 3.1 - Especificações de desempenho do projeto

| Objetivo                                 | Requisito   |
|--|---|
| Diversos materiais de fio                | A máquina deverá ser compatível com algodão e poliéster.<br>Força de rotura $\geq 1$ N<br>Compatível c/ variações da tensão de rotura $\leq  10 \%$ |
| Diversos diâmetros de fio                | Compatível com diâmetros $\leq 2$ mm<br>Compatível com variações do diâmetro $\leq  10 \%$  |
| Diversas dimensões de bobine             | Compatível com bobines de diâmetro externo da base $\leq 160$ mm e altura $\leq 200$ mm   |
| Cumprir tolerâncias de velocidade        | Velocidade $\leq 4.2$ m/s com variação máxima de 0.5%.  |
| Cumprir tolerância de posição            | Desvio de posição $\leq 1$ mm   |
| Segurança da máquina e utilizador        | Em emergência, a máquina deve parar em $\leq 1$ s   |
| Preparação simples, intuitiva e rápida   | Tempo de preparação $\leq 2$ min  |
| Reduzido desgaste dos componentes móveis | Condições ótimas de operação $\geq 10$ km   |
| Evitar rompimento do fio                 | $\leq 5$ rompimentos de fio por 10 km   |
| Massa Reduzida                           | Massa $\leq 30$ kg  |
| Volume Reduzido                          | Volume $\leq 0.275$ m <sup>3</sup>  |

### 3.4 Criação de Soluções Alternativas

Seguindo o método do mapa morfológico, o primeiro passo foi criar uma lista extensiva de possíveis soluções para cada uma das funções da máquina, sendo essas:

- Desenrolamento do fio;
- Controlo de posição;
- Controlo de velocidade, sendo que este se encontra intimamente ligado com o controlo de tensão;
- Enrolamento de fio;
- Apoio da bobine, tanto no desenrolamento como no enrolamento.

Num segundo passo, essas sub-soluções foram colocadas num mapa morfológico (Ver Apêndice A, ou Tabela 3.2 para uma versão simplificada). Por fim, foram escolhidas algumas combinações possíveis com as sub-soluções do mapa, estas estão destacadas com os números 1, 2, 3 e 4 e cores diferenciadoras para distinção facilitada.



Tabela 3.2 - Mapa morfológico do projeto, sem ilustrações (Ver Apêndice A).

|         |                            | Sub-Soluções   |  |   |  |   |   |   |  |
|---------|----------------------------|--|--|---|--|---|---|---|--|
| Funções | Desenrolar o fio           | Desenrolamento acima da bobine (1) (2) (3) (4)                         | Desenrolamento lateral com a bobine vertical   | Desenrolamento lateral com a bobine horizontal  | Desenrolamento com a bobine posicionada em um prato excêntrico                       | Desenrolamento por atrito com recurso a cilindro motor (4)  |   |   |  |
|         | Controlar posição          | Posicionamento de fio com base em roldanas com perfil em V (1) (2) (4) | Posicionamento do fio com base em rolos  | Posicionamento do fio com base em um tensor aditivo e sistema de direcionamento               | Posicionamento do fio por um tubo transparente                                       | Posicionamento do fio por guias cerâmicos (3)   | Posicionamento do fio com um jato de ar                                   |   |  |
|         | Controlar velocidade       | Controlo de velocidade de ambas as bobines                             | Controlo da velocidade de apenas uma bobine com um elemento de alimentação positiva intermédio customizado (A) | Controlo da velocidade com um elemento de alimentação positiva intermédio customizado (B) (1) | Controlo da velocidade com apenas um elemento de alimentação positiva de mercado     | Controlo da velocidade de apenas uma bobine com dois elementos de alimentação positiva customizados intermédios (2) (4) | Controlo de velocidade de apenas uma bobine sem elementos intermédios (3) |   |  |
|         | Controlar a tensão         | Relação de posição angular de ambas as bobines                         | Relação de posição de dois positive yarn feeders customizados (2) (4)  | Tensor Multiplicativo   | Tensor aditivo (3)   | Tensor aditivo ativo (4)  | Tensor multiplicativo autoajustável de alavanca (1)                       | Tensor multiplicativo autoajustável de bola |  |
|         | Apoiar a bobine desenrolar | Suporte com extremidades cónicas ajustável                             | Suporte com extremidades planas ajustável  | Suporte simples vertical (1) (2) (3)  | Suporte simples com encaixe flexível (4)   |   |   |   |  |
|         | Apoiar a bobine enrolar    | Suporte com extremidades cónicas ajustável (1)                         | Suporte com extremidades planas ajustável (4)  | Suporte simples vertical  | Suporte simples com encaixe flexível (2) (3)   |   |   |   |  |
|         | Enrolar o fio              | Guiamento por servo motor e alavanca                                   | Guiamento por grooved drum (1) (2) (3)   | Guiamento por grooved drum e guia com relação de transmissão (random winding)                 | Guiamento por grooved drum e guia com relação de transmissão (precision winding) (4) | Guiamento por sistema de movimentação linear acionado por servo motor   | Guiamento por laminas rotativas contrárias                                |   |  |

A escolha destas combinações não foi feita ao acaso. A combinação 1 e 2 foram escolhidas respetivamente pelos dois projetistas em cargo do projeto, tendo em conta a sua experiência e

conhecimento, cada um escolheu a combinação que lhe pareceu mais viável. Um esquema da solução 1 é apresentado na Figura 3.3.

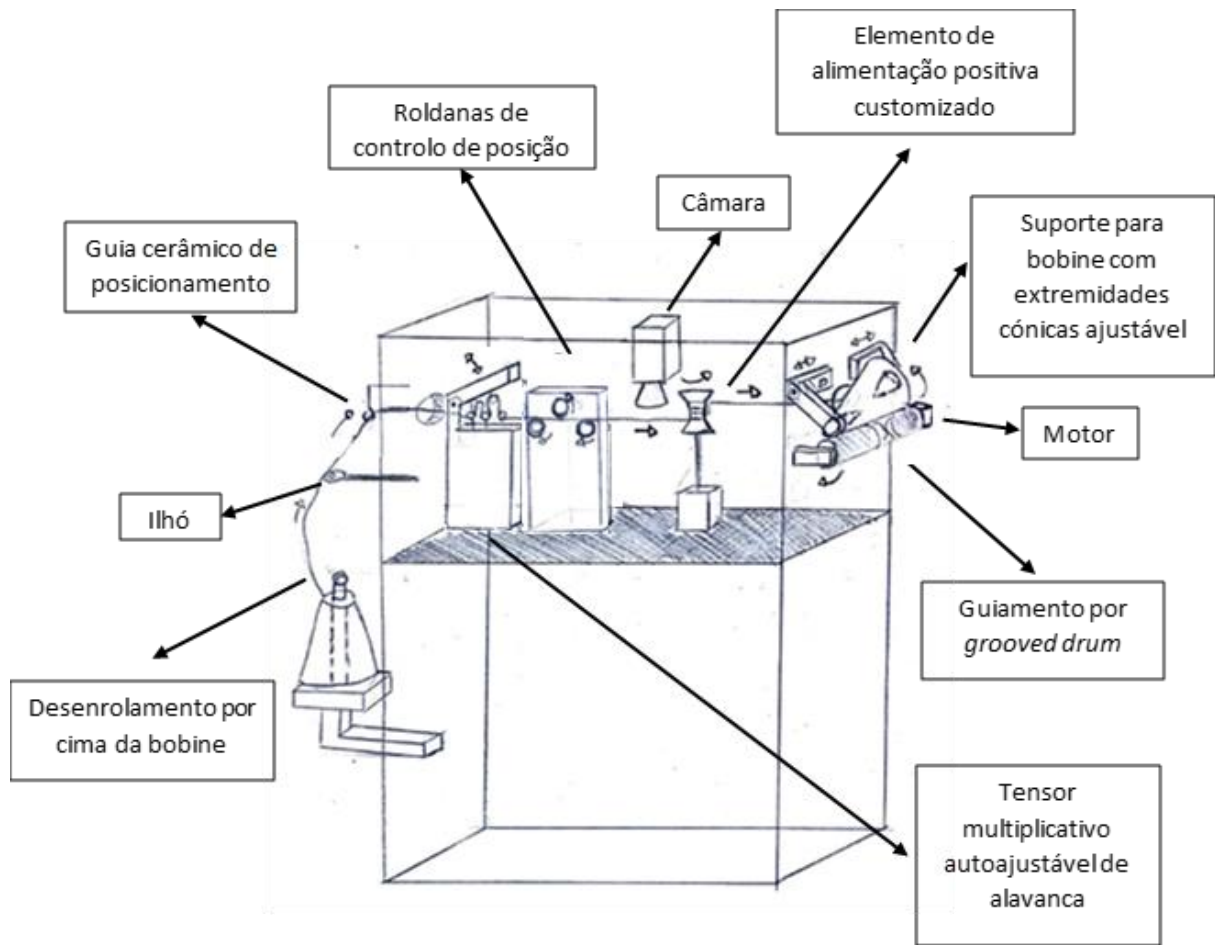


Figura 3.3 - Esquemática da combinação de sub-soluções 1.

O esquema da solução 2 é apresentado na Figura 3.4.

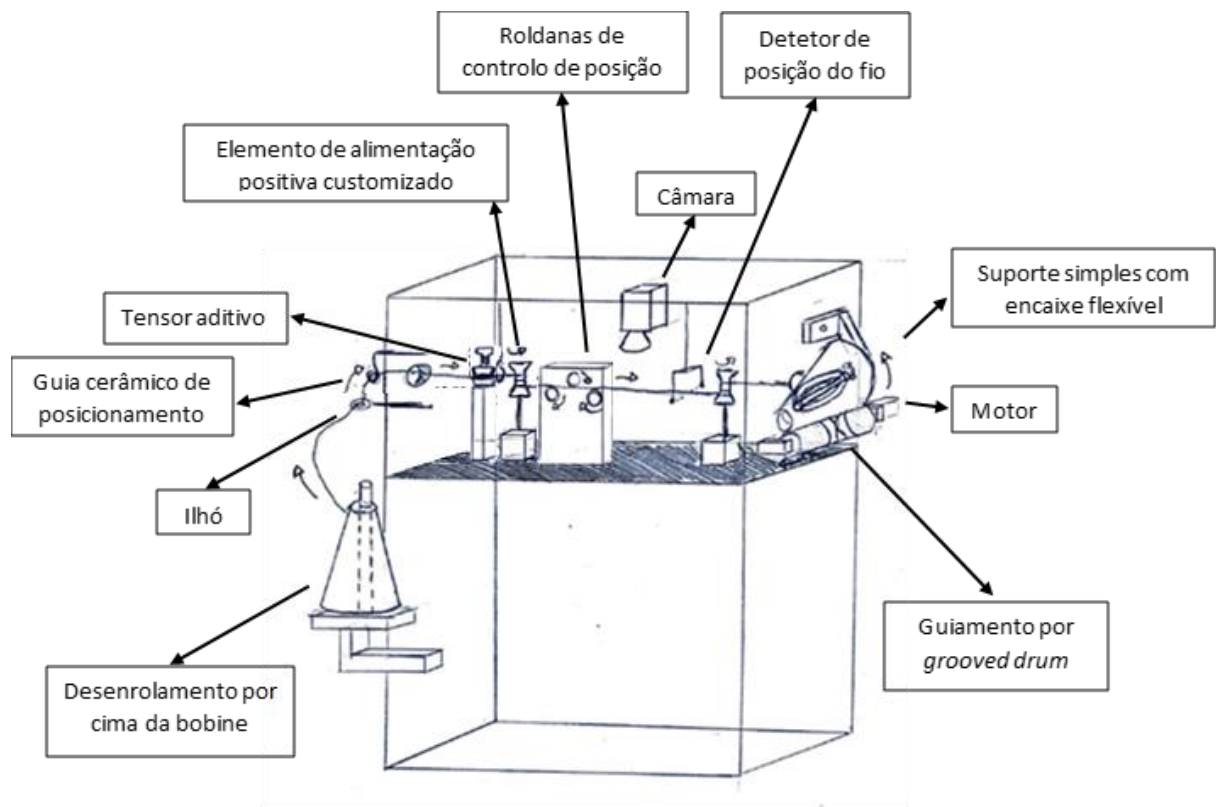


Figura 3.4 - Esquematização da combinação de sub-soluções 2.

Já as combinações 3 e 4 foram escolhidas pela sua complexidade. A combinação 3 representa a solução mais simples capaz de atingir os resultados pretendidos, enquanto que a combinação 4 representa a solução mais completa, que pretende ser a solução que contém a maior probabilidade de satisfazer qualquer objetivo, ignorando a questão dos custos.

O esquema da solução 3 é apresentado na Figura 3.5.

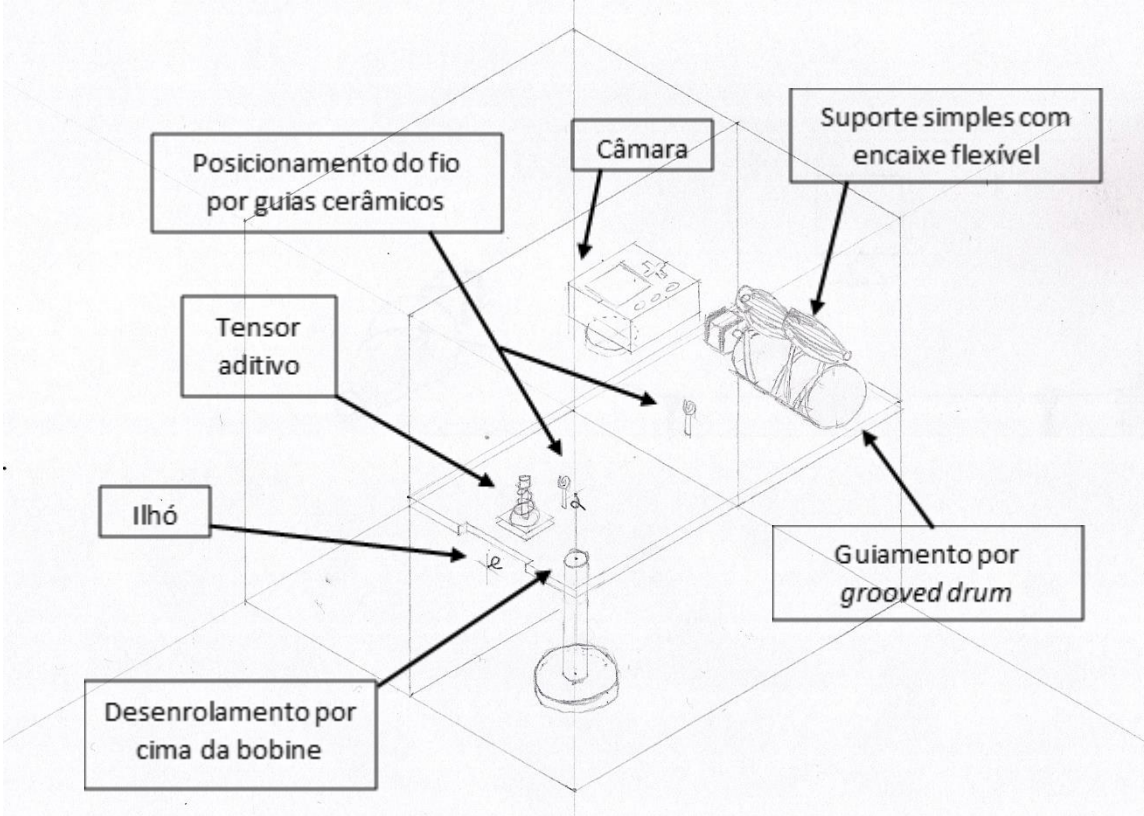


Figura 3.5 - Esquematização da combinação de sub-soluções 3.

O esquema da solução 4 é apresentado na Figura 3.6.

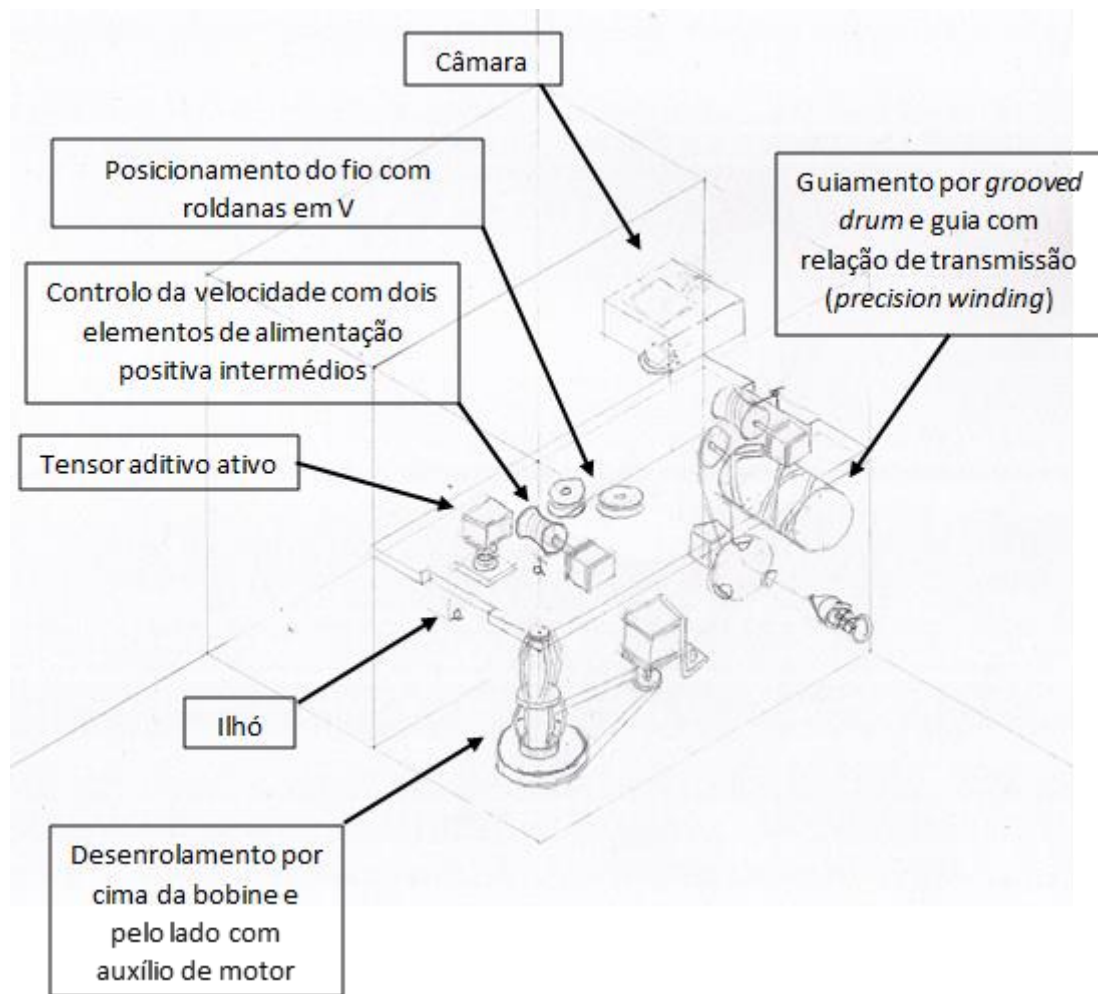


Figura 3.6 - Esquematização da combinação de sub-soluções 4

### 3.5 Avaliação das Soluções

A avaliação das soluções começa, segundo o método dos objetivos ponderados, pela atribuição de pesos aos objetivos definidos na árvore de objetivos, consoante a sua importância. A distribuição destes pesos foi definida pelos projetistas do projeto, em conjunto com o cliente. Essa distribuição é apresentada na Figura 3.7. Dentro de cada caixa é possível ver o peso relativo desse objetivo e dentro dos parênteses retos é possível ver o peso absoluto desse objetivo (para os objetivos de primeiro nível esse peso é coincidente).

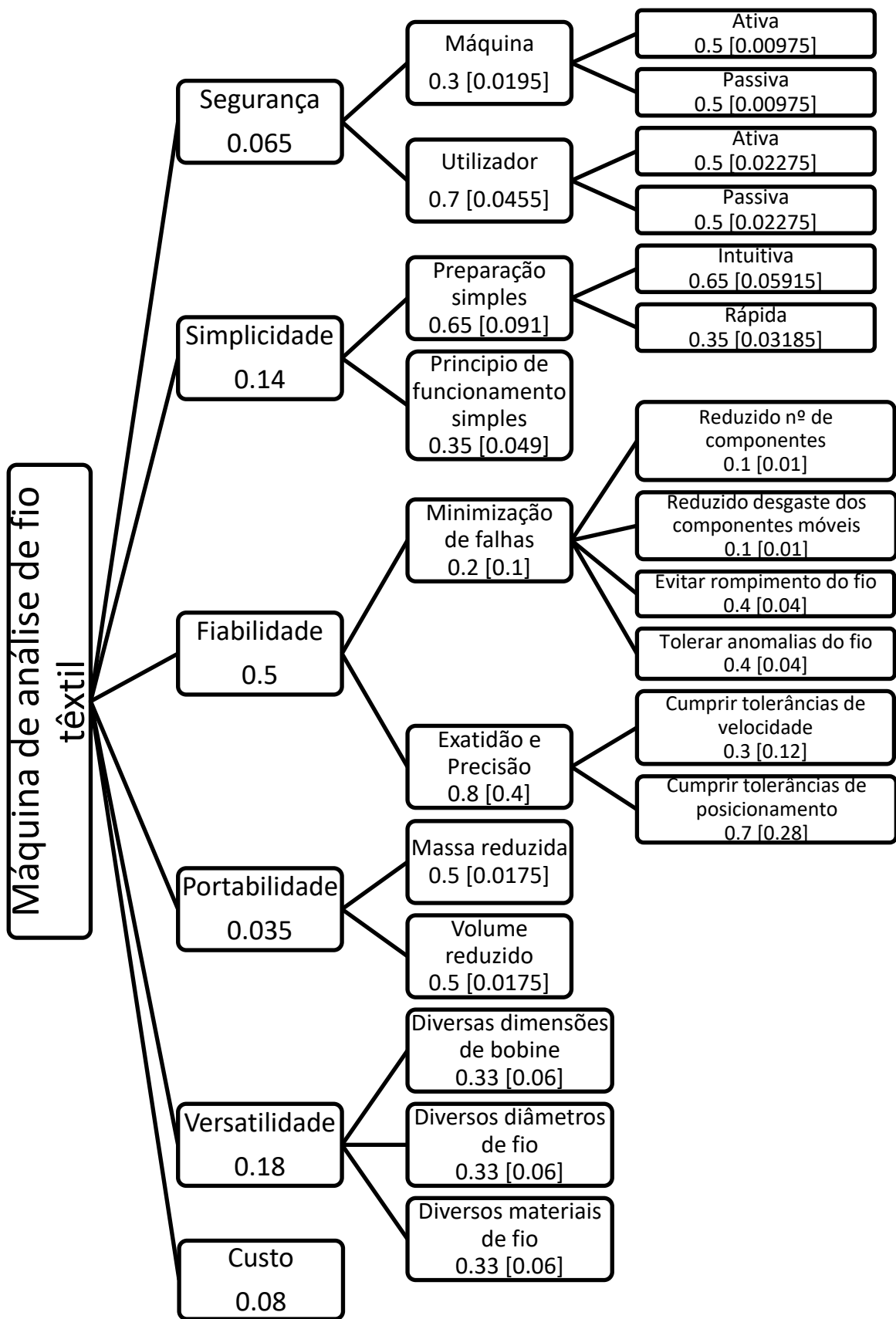


Figura 3.7 - Árvore de objetivos com pesos ponderados. Peso Relativo fora de parênteses, peso absoluto dentro de parênteses retos

Por fim, basta apenas atribuir uma pontuação de 0 a 10 a cada solução para cada um dos objetivos, sendo 10 a melhor possível solução para qualquer objetivo, e 0 a pior. Esta classificação foi realizada com o auxílio da Tabela 3.3.

*Tabela 3.3 - Pontuação das quatro soluções de acordo com o método dos objetivos ponderados*

| Objetivo                                 | Importância relativa | Parâmetro                       | Solução 1 |       | Solução 2 |       | Solução 3 |       | Solução 4 |       |
|--|----------------------|---------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|  |                      |                                 | Pontuação | Valor | Pontuação | Valor | Pontuação | Valor | Pontuação | Valor |
| Custo                                    | 0,08                 | Preço total dos componentes     | 7         | 0,56  | 6         | 0,48  | 9         | 0,72  | 4         | 0,32  |
| Diversos materiais de fio                | 0,06                 | Grau de versatilidade           | 9         | 0,54  | 10        | 0,60  | 10        | 0,60  | 10        | 0,60  |
| Diversos diâmetros de fio                | 0,06                 | Grau de versatilidade           | 10        | 0,60  | 10        | 0,60  | 8         | 0,48  | 10        | 0,60  |
| Diversas dimensões de bobine             | 0,06                 | Grau de versatilidade           | 10        | 0,60  | 7         | 0,42  | 7         | 0,42  | 7         | 0,42  |
| Volume reduzido                          | 0,0175               | Grau de compactação             | 8         | 0,14  | 7         | 0,12  | 9         | 0,16  | 5         | 0,09  |
| Massa reduzida                           | 0,0175               | Grau de leveza                  | 8         | 0,14  | 7         | 0,12  | 9         | 0,16  | 5         | 0,09  |
| Cumprir tolerâncias de posicionamento    | 0,28                 | Grau de tolerância              | 6         | 1,68  | 8,5       | 2,38  | 6         | 1,68  | 9         | 2,52  |
| Cumprir tolerâncias de velocidade        | 0,12                 | Grau de tolerância              | 7         | 0,84  | 8,5       | 1,02  | 4         | 0,48  | 9         | 1,08  |
| Tolerar anomalias do fio                 | 0,04                 | Grau de tolerância              | 8         | 0,32  | 7         | 0,28  | 5         | 0,20  | 7,5       | 0,30  |
| Evitar rompimento do fio                 | 0,04                 | Grau de minimização de falha    | 8         | 0,32  | 7         | 0,28  | 5         | 0,20  | 7,5       | 0,30  |
| Reduzido desgaste dos componentes móveis | 0,01                 | Grau de minimização de desgaste | 8         | 0,08  | 7         | 0,07  | 7         | 0,07  | 5         | 0,05  |
| Reduzido nº de componentes               | 0,01                 | Nº de componentes               | 7         | 0,07  | 6         | 0,06  | 8         | 0,08  | 4         | 0,04  |

| Objetivo                           | Importância relativa | Parâmetro            | Solução 1 |       | Solução 2 |       | Solução 3 |       | Solução 4 |       |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                                    |                      |                      | Pontuação | Valor | Pontuação | Valor | Pontuação | Valor | Pontuação | Valor |
| Princípio de funcionamento simples | 0,049                | Grau de simplicidade | 8         | 0,39  | 7         | 0,34  | 9         | 0,44  | 5         | 0,25  |
| Preparação rápida                  | 0,03185              | Grau de rapidez      | 7         | 0,22  | 7         | 0,22  | 9         | 0,29  | 7         | 0,22  |
| Preparação intuitiva               | 0,05915              | Grau de facilidade   | 5         | 0,30  | 7         | 0,41  | 9         | 0,53  | 5         | 0,30  |
| Segurança ativa do utilizador      | 0,02275              | Grau de segurança    | 0         | 0,00  | 0         | 0,00  | 0         | 0,00  | 0         | 0,00  |
| Segurança passiva do utilizador    | 0,02275              | Grau de segurança    | 6         | 0,14  | 5         | 0,11  | 8         | 0,18  | 4         | 0,09  |
| Segurança ativa da máquina         | 0,00975              | Grau de segurança    | 1         | 0,01  | 4         | 0,04  | 0         | 0,00  | 2         | 0,02  |
| Segurança passiva da máquina       | 0,00975              | Grau de segurança    | 5         | 0,05  | 2         | 0,02  | 7         | 0,07  | 3         | 0,03  |
| Total                              | 1                    |                      |           | 7,00  |           | 7,59  |           | 6,76  |           | 7,31  |

Como se pode verificar, a solução vencedora é a solução 2, portanto essa solução servirá de ponto de partida para o resto do desenvolvimento do projeto.





## **4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

*Neste capítulo é revelado o projeto detalhadamente na sua versão inicial, os testes realizados e as consequentes alterações e o projeto detalhado resultante final. Para uma melhor compreensão do sistema, o projeto é dividido em três subsistemas: o subsistema de desenrolamento, o subsistema da condução de fio e o subsistema de enrolamento.*

## 4.1 Solução conceptual

### 4.1.1 Sistema de Desenrolamento

O sistema selecionado através do projeto conceptual foi a solução 2 (Figura 4.1). A máquina do projeto, neste caso a solução 2, pode ser dividida em três partes. O sistema de desenrolamento (toda a parte fora da caixa do lado esquerdo), o sistema de condução de fio (toda a parte dentro da caixa) e o sistema de enrolamento (toda a parte fora da caixa do lado direito). O sistema de desenrolamento é responsável pelas funções de apoiar a bobine, desenrolar o fio e guiar o fio para dentro da caixa.

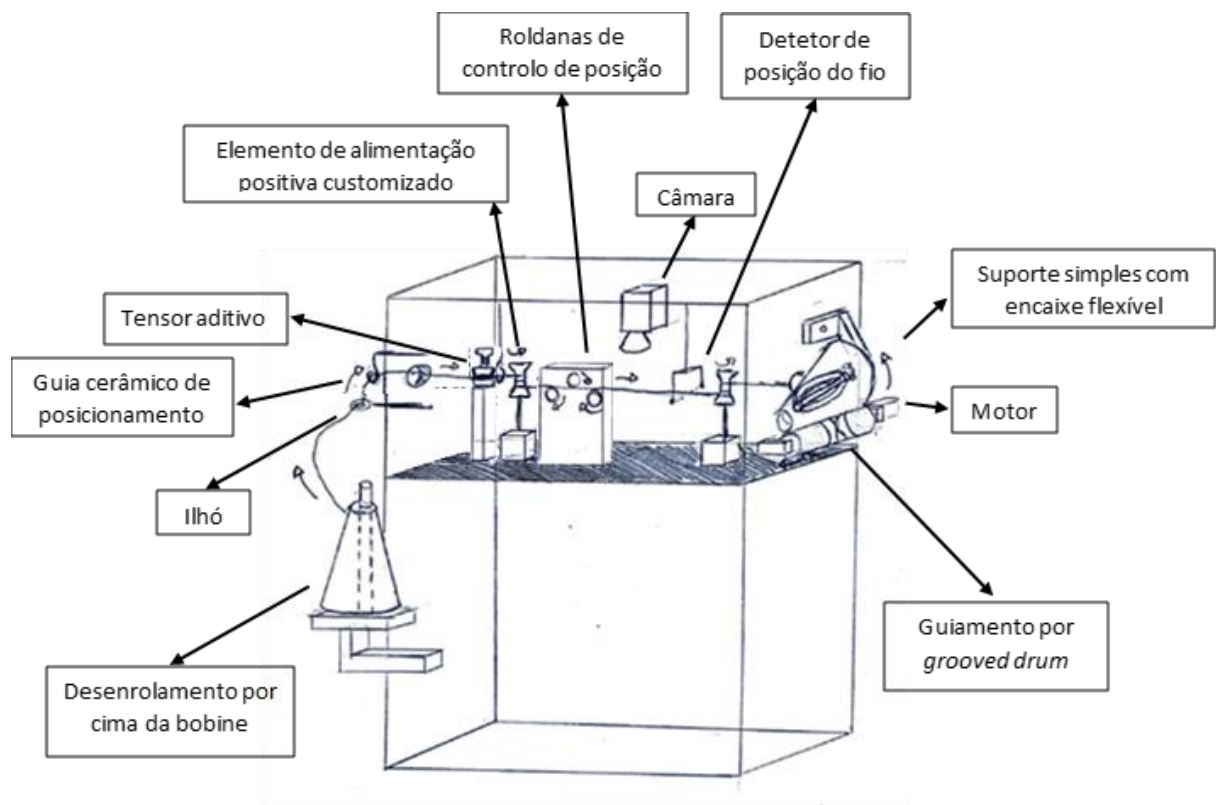


Figura 4.1 - Solução conceptual 2

### Seleção e especificação dos componentes

O sistema de desenrolamento segundo o sistema conceptual é composto por três componentes:

- A bobine;
- O apoio da bobine;
- A guia de fio.

## **Bobine**

A bobine é uma variável fora do projeto pois esta simplesmente será fornecida e, portanto, não é alvo de seleção nem especificação.

## **Apoio da bobine**

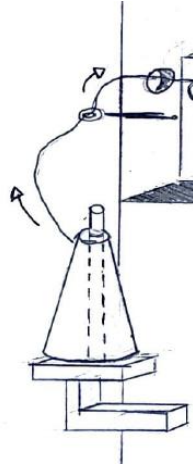
O apoio de bobine, no entanto, já é uma variável relevante ao projeto pois terá de ser compatível com as bobines fornecidas. Este componente terá de ser feito customizado para encaixar na caixa também ela fornecida pelo cliente (tal como as bobines são fornecidas). Para o fabricar será utilizada a manufatura aditiva pela sua simplicidade e acessibilidade, pois a peça não será sujeita a esforços relevantes.

## **Guia de fio**

A guia de fio é um componente com vasta disponibilidade no mercado pelo que uma destas será adquirida de acordo com as necessidades. O fio a analisar sendo de algodão ou poliéster não requer nenhuma especificação fora do comum, pelo que uma guia cerâmica será suficiente e de baixo custo. Para suportar a guia será também fabricado um apoio com recurso a manufatura aditiva, pelas mesmas razões do apoio da bobine de fio.

### *Definição da geometria e montagem*

Como foi explorado no Subcapítulo 2.2.2, o único dimensionamento relevante neste sistema de desenrolamento é a altura da guia de fio. Como existe uma grande variedade de bobines que poderão ser analisadas pela máquina, não há um valor fixo de altura do apex do cone. Sendo que se optou por seleccionar a maior altura possível sem ultrapassar a altura da caixa, desta forma garante-se o mínimo de risco de arrastamento possível diminuindo assim a tensão (Figura 4.2).



*Figura 4.2 - Solução conceptual - Sistema de desenrolamento*

Como a bobine não está sujeita a nenhum esforço relevante, o apoio da bobine simplesmente necessita de ser uma plataforma que a suporte.

#### 4.1.2 Sistema de Condução de Fio

O sistema de condução do fio é responsável pelas funções de controlar a posição do fio, controlar a velocidade do fio e controlar a tensão do fio.

##### *Seleção e especificação dos componentes*

O sistema de condução do fio, segundo a solução conceptual desenvolvida contém os seguintes componentes (Figura 4.3):

- Tensor aditivo;
- Alimentador positivo de fio;
- Servomotor;
- Roldanas para controlo de posição;
- Detetor de posição do fio;
- Mais um alimentador positivo de fio;
- Mais um servomotor.

##### **Tensor aditivo**

O tensor será utilizado para introduzir alguma tensão no fio à entrada do primeiro alimentador positivo de fio para que este possa obter um enrolamento uniforme. Foi escolhido um tensor do tipo aditivo pela sua simplicidade e baixo custo.

### **Alimentador positivo de fio (PYF)**

O alimentador positivo de fio foi escolhido para libertar o fio a uma velocidade constante, isolando as tensões vindas do percurso anterior do fio. Foi escolhido este componente sobre outras maneiras de tracionar o fio pela sua capacidade de isolar as tensões de entrada das tensões de saída e pelo método de tracionar o fio baseado no atrito multiplicativo em vez de atrito por compressão sobre o fio que poderia danificar as suas propriedades. Este componente foi inicialmente pensado que seria customizado, mas mais tarde foi decidido que seria obtido um já disponível no mercado para acelerar o desenvolvimento.

### **Servomotor**

Para acionar o alimentador positivo foi escolhido um servomotor com potência suficiente para puxar o fio à velocidade desejada de 4.2 m/s.

### **Roldanas para controlo de posição**

As roldanas foram escolhidas para ajudar a posicionar o fio em frente à lente da câmara. Foram escolhidas roldanas em vez de guias pelo reduzido atrito provocado pelas roldanas.

### **Segundo alimentador positivo**

O segundo alimentador positivo servirá para isolar as variações de tensão vindas do enrolamento e em conjunto com o primeiro alimentador positivo, será possível efetuar um controlo ativo da tensão, mencionado em “Dispositivos automáticos de controlo de tensão” do subcapítulo 2.2.5. Utilizando um sensor de posição de fio para ajudar a determinar a tensão do fio.

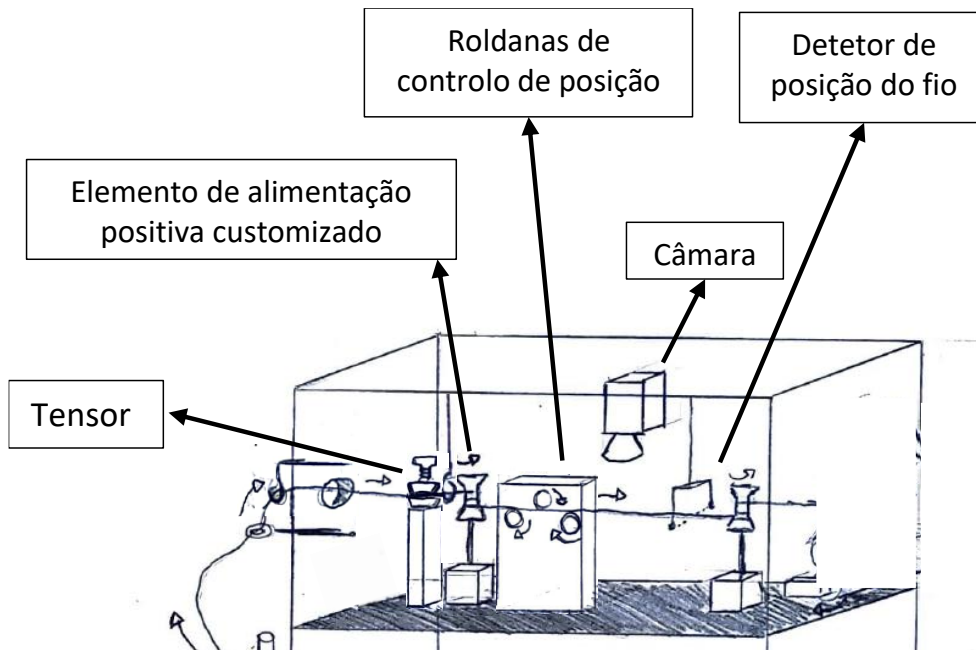


Figura 4.3 - Solução conceptual - Sistema de condução do fio

### Definição da geometria e montagem

Os componentes deste subsistema serão colocados pela ordem indicada na Figura 4.3 pela razão de funcionamento explicada anteriormente, minimizando desvios no percurso do fio para minimizar tensões.

#### 4.1.3 Sistema de Enrolamento

O sistema de enrolamento é responsável por suportar a bobine e enrolar a bobine.

### Seleção e especificação dos componentes

O sistema de enrolamento segundo a solução conceptual desenvolvida contém os seguintes componentes (Figura 4.4):

- Suporte para a bobine;
- Bobine;
- Servomotor;
- Cilindro ranhurado;
- Suporte de cilindro ranhurado.

### Suporte para a bobine e suporte do cilindro ranhurado

Os suportes da bobine e do cilindro ranhurado serão fabricados por manufatura aditiva pelas mesmas razões dos restantes suportes.

### **Bobine de Enrolamento**

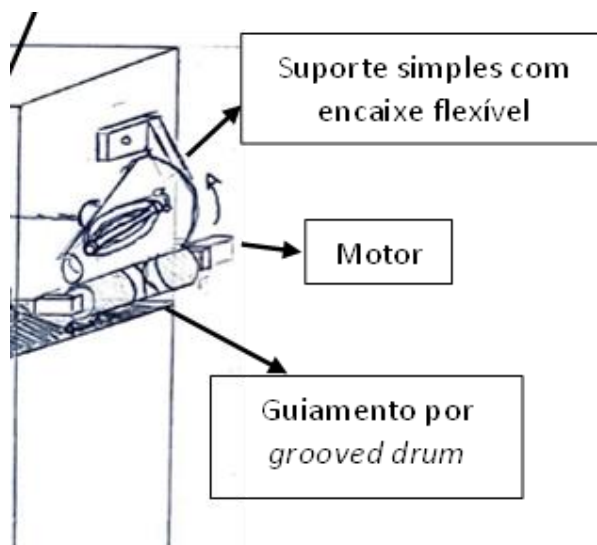
A bobine do enrolamento, ao contrário da do desenrolamento, não será fornecida, pelo que temos liberdade de definir as suas dimensões consoante o cilindro ranhurado que se adquira. Embora na Figura 4.4 se represente uma bobine cónica, a bobine terá de ser cilíndrica para não haver variações de velocidade entre o sistema de condução de fio e o sistema de enrolamento.

### **Servomotor**

Um servomotor será mais uma vez escolhido para permitir controlo preciso sobre a velocidade.

### **Cilindro ranhurado**

Para a função de distribuir uniformemente o fio pela bobine considerou-se a utilização de um cilindro ranhurado para bobine cilíndricas.



*Figura 4.4 - Solução conceptual - Sistema de enrolamento*

### *Definição da geometria e montagem*

A configuração representada na Figura 4.4 foi escolhida para que a força gravítica contribuísse para pressionar a bobine contra o cilindro ranhurado para permitir o correto funcionamento deste sistema de enrolamento aleatório.

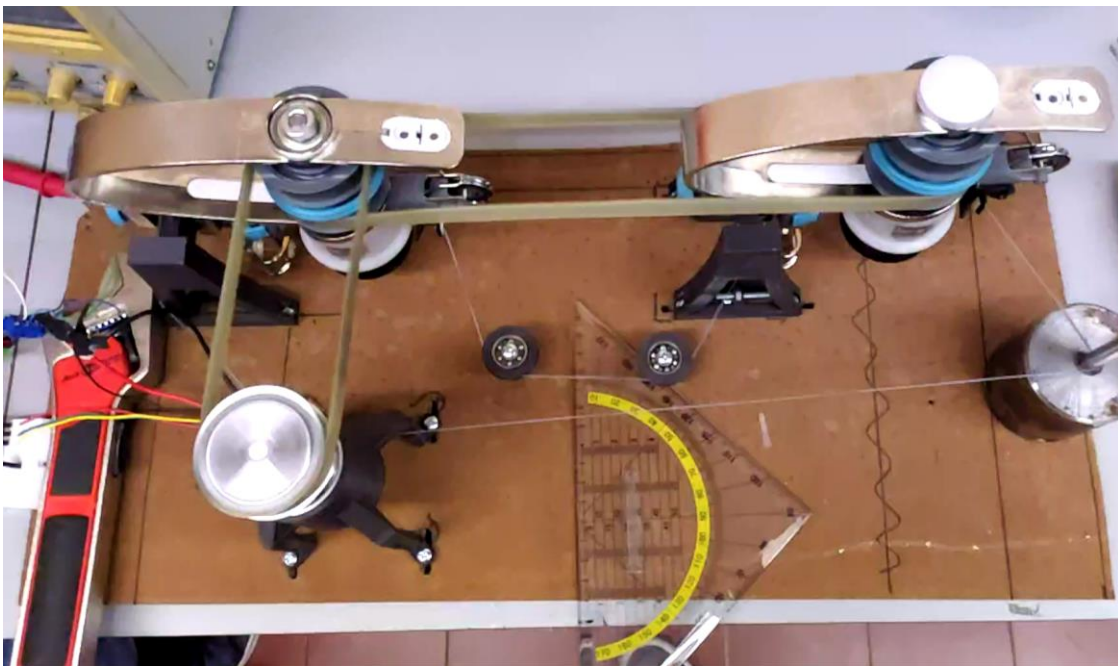


## 4.2 Testes Preliminares

A construção de um novo sistema físico está associada a um número quase infinito de variáveis, muitas das quais permanecem desconhecidas apesar da extensa pesquisa desenvolvida sobre os diversos componentes e subsistemas. O objetivo dos testes preliminares é revelar algumas destas variáveis que se não fossem descobertas poderiam arruinar o funcionamento pretendido da máquina, após estar concluída. O que levaria a custos e tempo de desenvolvimento maiores.

### 4.2.1 Bancada de Testes

Para efetuar os testes preliminares, como por definição a máquina total ainda não está construída nem funcional, foi necessário montar uma bancada cujo único objetivo é fornecer um ambiente similar ao ambiente e estrutura final desejados para testar os diversos subsistemas a integrar na máquina. Esta bancada consistia numa placa com as dimensões do interior da caixa, nos dois alimentadores positivos (PYF) adquiridos, e num motor temporário para os ativar à velocidade necessária com capacidade para posterior análise de carga durante os ensaios. Como o sistema de enrolamento ainda não existia, o fio processado percorre em *loop* do primeiro para o segundo e de volta para o primeiro PYF, como se vê na Figura 4.5, para ensaios contínuos, ou é preso a um dos PYF para ensaios curtos e de desenrolamento.



*Figura 4.5 - Bancada de testes com fio em loop, desviado por roldanas.*

#### 4.2.2 Sistema de Desenrolamento

Os testes ao sistema de enrolamento foram realizados com o objetivo de avaliar:

1. O comportamento do fio no processo de desenrolamento de fio pelo topo com:
  - a. Guia não coaxial com o eixo da bobine com um fio de 49 *Tex* com uma diferença de cota entre o guia a e o base da bobine de 41 cm (altura de apex);
  - b. Guia coaxial com o eixo da bobine com fios de 19 *Tex* e 49 *Tex* com uma diferença de cota entre o guia a e o base da bobine de 41 cm (altura de apex), e de 33.5 cm (abaixo da altura de apex) apenas para o fio de 19 *tex*.

O procedimento seguido foi o seguinte:

1. Colocou-se a bobine apoiada numa cadeira abaixo da bancada de testes. O fio foi enrolado nos 2 alimentadores positivos, sendo que se fixou o fio no segundo alimentador positivo para este funcionar como bobine/ armazenamento de fio (devido à necessidade de tensão de saída do fio à saída do primeiro alimentador positivo, para o correto funcionamento do mesmo). O desenrolamento foi feito a 1730 rpm (4.2 m/s – velocidade desejada). A avaliação ao modo de desenrolar foi feita através de uma filmagem em câmara lenta (480 fps na generalidade e 240 fps para o descentrado). Note-se que em todos os testes foi utilizada uma bobine cheia, e apenas se desenrolou alguns metros.
  - a. Colocou-se a bobine com o eixo não coaxial, mas paralelo ao da guia com uma diferença de cotas entre guia e base da bobine de 41 cm, isto para o fio de 49 *Tex*,
  - b. Colocou-se a bobine de fio com o seu eixo coaxial ao eixo da guia da bobine com uma diferença de cotas entre guia e base da bobine de 41 cm, tendo-se testado para os fios de 19 *Tex* e 49 *Tex*. O teste foi feito, também, com uma diferença de cotas entre guia e base da bobine de 33.5 cm para 19 *Tex*.

Os resultados observados são estes:

1.
  - a. A observação do vídeo permite visualizar elevadas variações de tensão no fio, pelo atrito gerado no contacto com uma zona específica da bobine devido à não coaxialidade do eixo da bobine e da guia de fio.
  - b. Para todos os testes cujo eixo da bobine é coaxial com o eixo do ilhó, a observação do vídeo não revela arrastamento entre o fio e a bobine, dado que, apesar de a altura do

ilhó ser inferior à altura de apex, o efeito de balão do fio reduz o contacto entre o fio e a bobine. A observação do comportamento do fio permite perceber variações de velocidade do ponto desenrolamento, entre o topo e a base do cone. Estas variações são mais acentuadas na bobine do fio de 19 *Tex* porque a razão de diâmetros do topo sobre a base é menor.

Para melhor compreensão do ensaios apresentam-se imagens para o ensaio 1.a. e 1.b. na Figura 4.6.



Figura 4.6 - Teste ao desenrolamento pelo topo. Imagem da esquerda corresponde ao testes 1.a. e imagem da direita aos testes 1.b.

#### 4.2.3 Sistema de Condução de Fio

Os testes ao sistema de condução de fio foram realizados com o objetivo de avaliar:

1. O comportamento do fio no sistema de condução de fio à velocidade de 4.2 m/s, com o fio configurado em *loop*:
  - 1.1. Sem guias de fio nem roldanas entre os PYF (controlo);
  - 1.2. Com guias de fio entre os PYF;

- 1.2.1. Com distância entre guias de 50 mm;
  - 1.2.2. Com distância entre guias de 86 mm;
- 1.3. Com roldanas entre os PYF;
2. O comportamento do fio no sistema de condução de fio à velocidade de 4.2 m/s, com o fio a ser desenrolado e armazenado no segundo PYF:
  - 2.1. Com tensor aditivo antes do primeiro PYF;
  - 2.2. Sem tensor aditivo antes do primeiro PYF.

O procedimento utilizado foi o seguinte:

- a. Neste teste foi utilizada uma montagem em que o fio circulava em circuito fechado, isto é, o fio em processamento estava em constante recirculação, não havendo fio a ser desenrolado nem enrolado. O sistema foi colocado em funcionamento a 1730 rpm, que corresponde a uma velocidade de processamento de fio teórica de 4.2 m/s (velocidade desejada). Todos os testes foram executados com dois fios de algodão diferentes, um de 19 *Tex* e outro de 49 *Tex*.
  - 1.1. Semelhante a 1.2., mas sem desviar o percurso do fio com guias.
  - 1.2. Neste teste o fio foi desviado do seu percurso normal entre os PYF com recurso a guias. De forma a avaliar as oscilações na condução do fio, foi colocado um esquadro como referência tanto na horizontal como na vertical. Os dados foram recolhidos utilizando filmagem a 240 fps;
  - 1.3. Semelhante a 1.2., mas com roldanas cerâmicas em vez de guias, distanciadas de 60 mm.
2. Neste teste o fio era desenrolado de uma bobine pelo topo, passando ou não por um tensor aditivo, passando depois pelo primeiro PYF, depois por duas guias entre os PYF, e por fim era enrolado no segundo PYF sem sair deste. Apenas foi testado com um fio de algodão de 49 *Tex*.
  - 2.1. Com tensor aditivo
  - 2.2. Sem tensor aditivo

Os resultados observados podem ser observados no Apêndice B, sendo que a análise desses resultados é a seguinte:

1. As oscilações mais elevadas foram obtidas com o uso de guias com distanciamento de 86 mm, sendo que estas oscilações diminuem drasticamente para um distanciamento entre guias de 50 mm. As roldanas mostraram resultados mais consistentes para os diferentes fios, e em geral, provocaram menores oscilações no fio do que as guias a 50 mm, embora bastante

semelhantes. Os melhores resultados foram obtidos quando não se utilizaram guias nem roldanas para desviar o fio do seu percurso.

2. É possível concluir que a utilização do tensor (que já vem incluído no PYF adquirido) diminuiu significativamente as oscilações do fio (que causam desvios de posição). Adicionalmente, percebe-se que a configuração do fio (vindo do enrolamento, em vez de percorrer o sistema em *loop*) também contribuiu para diminuir as oscilações. Como este é o cenário mais realista, foi possível concluir que mesmo com guias, o objetivo de o fio não se desviar mais de 1 mm é facilmente obtido com este sistema.

Para melhor compreensão dos ensaios seguem-se algumas imagens dos ensaios 1.2.1. e 1.3. na Figura 4.7:



Figura 4.7 - Imagem de cima é uma vista de topo do ensaio 1.2.1. Imagem de baixo é uma vista frontal do ensaio 1.3.

#### 4.2.4 Sistema de Enrolamento

Os testes ao sistema de enrolamento foram realizados com o objetivo de avaliar:

1. O comportamento do fio no sistema de enrolamento (se o fio percorre o percurso que deve); e a qualidade da bobine enrolada para uma distância entre o segundo PYF e o cilindro ranhurado de:
  - 1.1. 200 mm;
  - 1.2. 250 mm.

O procedimento seguido foi o seguinte:

Como este foi o último subsistema a ser desenvolvido e testado, foi possível contar com os subsistemas de desenrolamento e condução de fio já funcionais (o que também significa que algumas alterações nestes sistemas já tinham ocorrido, portanto o sistema de enrolamento não foi testado no estado representado pela solução conceptual, mas sim com algumas alterações que serão evidenciadas no capítulo 4.3.3 Sistema de Enrolamento). Deste modo, o procedimento foi o de colocar a máquina a trabalhar do modo que é suposto, ou seja, o fio é desenrolado, passa pelo sistema de condução de fio e saindo do segundo alimentador positivo, passa por uma ranhura na lateral direita da caixa para o exterior da caixa onde se situa o sistema de enrolamento. Aqui o fio é colocado em volta do cilindro ranhurado, numa das ranhuras e de seguida é preso na bobine vazia encostada ao cilindro ranhurado (Ver exemplo na Figura 4.8). O fio foi colocado à velocidade de trabalho (4.2 m/s) enquanto o processo era filmado por uma câmara de alta velocidade a 480 fps para posterior análise.



*Figura 4.8 - Percurso do fio no sistema de enrolamento*

Os resultados obtidos foram:

1.

1.1. Observou-se que o fio tinha tendência a saltar fora das ranhuras do cilindro, ou não completava a travessia completa. O que resultou num enrolamento muito inconsistente, com diferentes quantidades de fio em secções diferentes da bobine.

1.2. Aumentando a distância entre a última guia de fio (presente no segundo PYF) e o cilindro ranhurado para 250 mm foi suficiente para diminuir o alcance de ângulos entre o fio e o eixo do cilindro ranhurado, o que facilitou a capacidade do fio se manter na ranhura correta. O resultado na bobine foi um enrolamento muito mais consistente e uniforme.

#### 4.2.5 Modificações segundo resultados dos testes

O sistema de desenrolamento funcionou como esperado, visto que para o sistema sempre se considerou que a guia seria coaxial com a bobine, portanto mantém-se inalterado.

No sistema de condução de fio apenas se alterou as roldanas por guias de fio, visto que os testes comprovaram que estas cumprem o requisito de oscilação de fio menor de 1 mm, e porque são mais compactas e simples do que roldanas. O distanciamento entre guias foi definido através dos testes em cerca de 50 mm.

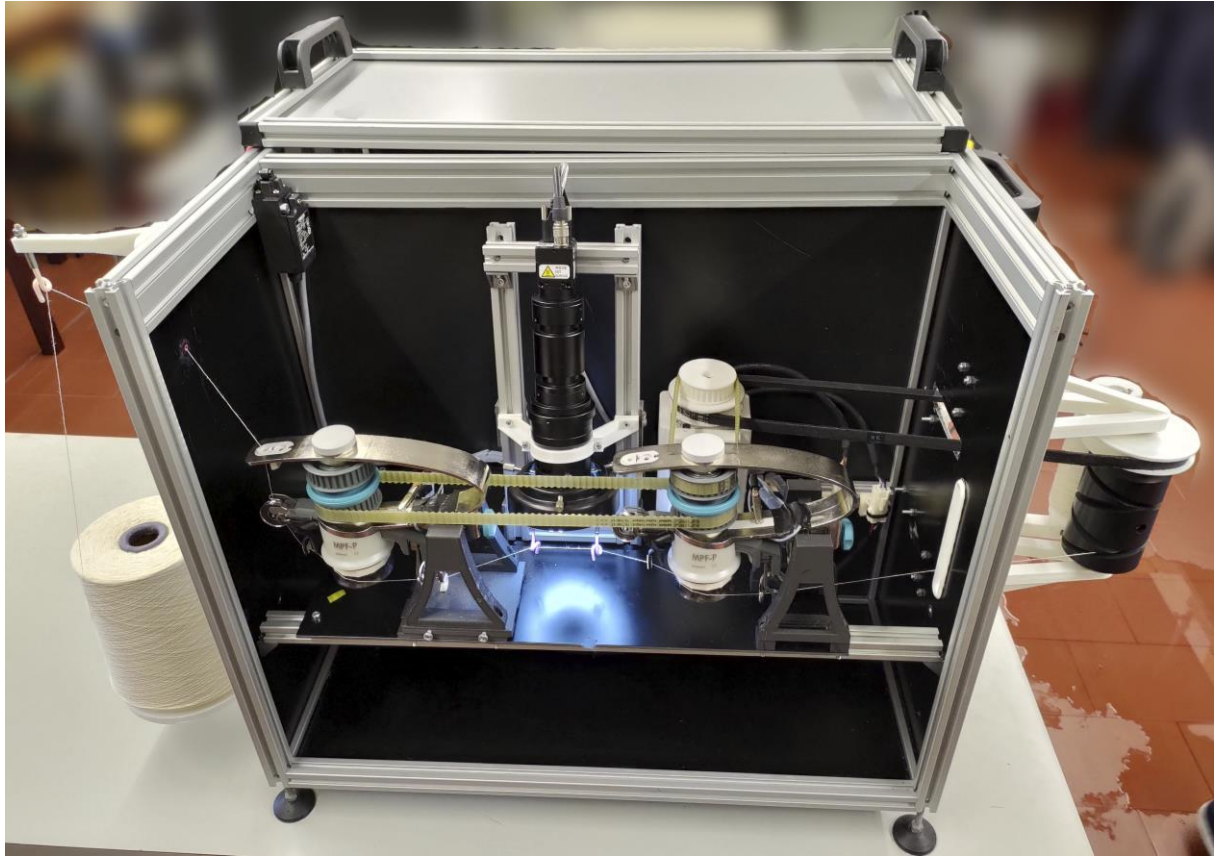
Para o sistema de enrolamento, dos testes resultou um aumento de 50 mm na distância do cilindro ranhurado (e por consequência, todo o sistema de enrolamento) ao resto da caixa.

### **4.3 Solução Validada/Escolhida**

Após as mudanças efetuadas e a integração de todos os subsistemas na caixa, assim como a inclusão do suporte e acessórios da câmara, a solução final é a representada na Figura 4.9.

Para uma representação mais detalhada, encontram-se no Apêndice C, desenhos das vistas frontal e traseira, de cima e de ambos os lados, com enumeração dos componentes mais relevantes, assim como a respetiva lista dos componentes enumerados. Encontram-se ainda os desenhos técnicos dos componentes customizados.





*Figura 4.9 - Solução final com fio preparado*

#### 4.3.1 Sistema de Desenrolamento

O sistema de desenrolamento continua conceptualmente inalterado, sendo composto por 4 componentes:

- Suporte da bobine a desenrolar (componente n° 2 dos desenhos do Apêndice C);
- Guia de desenrolamento (componente n° 49):
- Suporte da guia de desenrolamento (4);
- Guia no furo de entrada de fio na caixa (5).

#### *Seleção e especificação dos componentes*

##### **Suporte da bobine a desenrolar**

O suporte da bobine a desenrolar (2) não sofreu nenhuma alteração derivada dos testes preliminares, no entanto, foi alterado para permitir suportar as bobines do enrolamento, permitindo assim testar o mesmo fio várias vezes (ver Figura 4.10).





*Figura 4.10 - Suporte da bobine de desenrolamento*

### **Guia de desenrolamento**

A guia de fio (49) mantém-se a mesma considerada na solução conceptual, sendo ela uma guia cerâmica com a seguinte forma (ver Figura 4.11) para fácil colocação do fio.



*Figura 4.11 - Guia de fio para desenrolamento e suporte de guia de fio*

### **Suporte da guia de desenrolamento**

O suporte da guia de desenrolamento (4), também visível na Figura 4.11, é um componente customizado para encaixar na caixa e suportar a guia na posição coaxial com o centro do suporte da bobine de desenrolamento. Este componente, tal como a maioria dos componentes customizados da máquina são fabricados por manufatura aditiva pela simplicidade e acessibilidade da tecnologia, visto que as cargas associadas à maioria dos componentes da máquina não são críticas, pois são bastante abaixo da tensão de cedência do material utilizado.

### **Guia no furo de entrada de fio na caixa**

A guia no furo de entrada de fio na caixa (5) é também cerâmica pelas razões já explicadas na solução conceptual. Esta guia terá uma forma cilíndrica oca, pois serve apenas para minimizar o atrito entre o fio e o furo na lateral da caixa (canto inferior direito da Figura 4.11)

### *Definição da geometria e montagem*

A definição da geometria do sistema de desenrolamento mantém-se tal como foi explicada no subcapítulo da solução conceptual (4.1.1), tendo-se definido a altura da guia para a distância máxima permissível sem ultrapassar a altura da caixa (Figura 4.12).



*Figura 4.12 - Geometria e montagem do sistema de desenrolamento*

### 4.3.2 Sistema de Condução de Fio

O sistema de condução de fio sofreu algumas alterações resultantes dos testes, assim como outras alterações significativas por razões de cariz económico. Os componentes pertencentes ao sistema final de condução de fio (e alguns do sistema de visão, assinalados com “\*”) são (ver Figura 4.13):

- Placa base do sistema de condução (componente nº 8 dos desenhos do Apêndice C);
- Alimentador positivo 1 (componente nº 9);
- Suportes dos alimentadores positivos (12);
- Alimentador positivo 2 (11);

- Base deslizante do alimentador positivo 1 (28);
- Base deslizante do servomotor (27);
- Suporte do servomotor (20);
- Servomotor (10);
- Sistema de 2 polias e 1 correia dentada (13) entre os alimentadores positivos;
- Sistema de 2 polias (15) e 1 correia dentada (14) entre o servomotor e o alimentador positivo 2 (11);
- Sistema de 2 polias (41 e 40) e uma correia plana (34) entre servomotor e sistema de enrolamento;
- Estrutura de posicionamento e suporte da câmara (26)\*;
- Adaptador de suporte da câmara (25)\*;
- Câmara (19)\*;
- Lente (24)\*;
- Braço de suporte da lente (47)\*;
- Lâmpada de iluminação do fio (21)\*;
- Adaptador para guiamento do fio pela lente (22);
- Guias de fio para adaptador para guiamento de fio na lente;

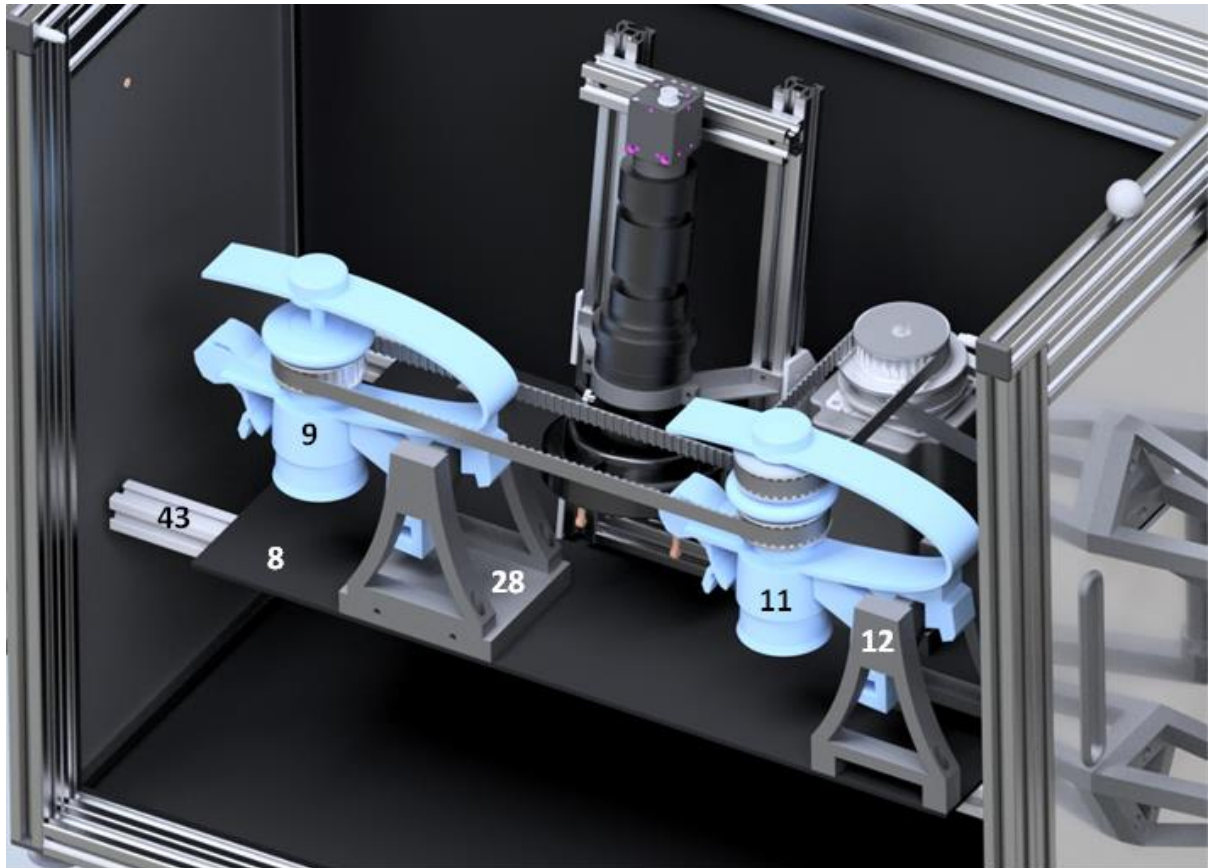


Figura 4.13 - Sistema de condução de fio com alguns componentes sinalizados

### *Seleção e especificação dos componentes*

#### **Placa base do sistema de condução**

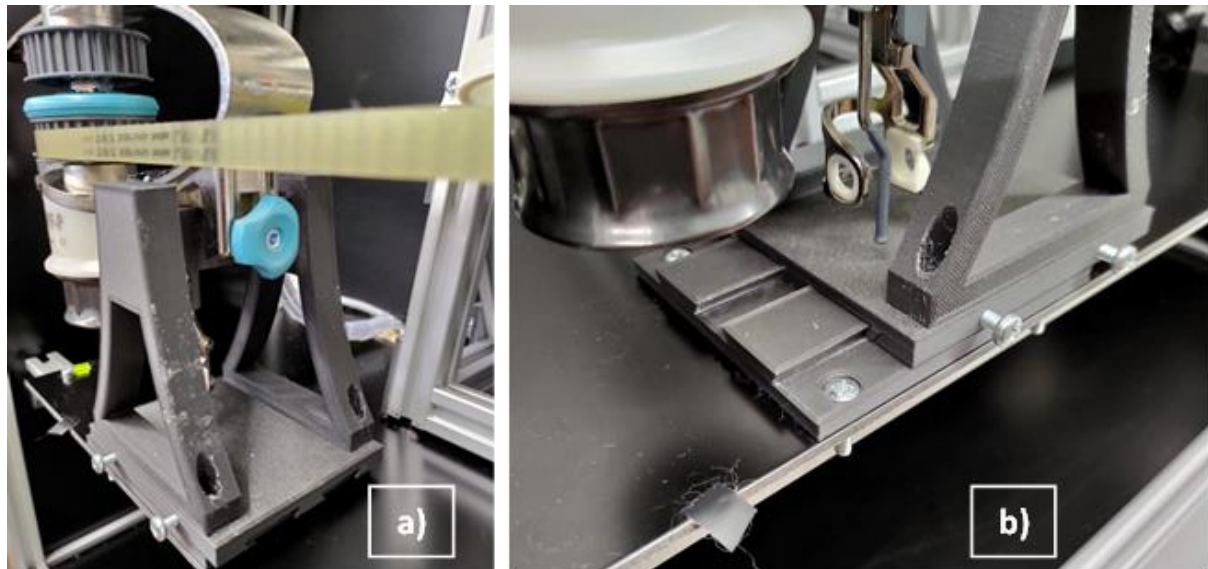
A placa base do sistema de condução (8) serve a única função de suportar todos os componentes nela montados. Esta placa deve ser rígida para minimizar as vibrações e a cor preta ajuda a diminuir as reflexões da lâmpada de iluminação (21) para a lente (24). O componente escolhido (é o mesmo material das paredes da caixa) é um composto laminado de duas placas de alumínio com um material polimérico entre elas. A escolha deste material não é relevante desde que seja rígido o suficiente para a sua função, como é o caso.

#### **Alimentadores positivos**

A escolha dos alimentadores positivos (9 e 11) foi explicada no subcapítulo 4.1.2. Como este componente já inclui um tensionador aditivo, não foi necessário adquirir um tensionador aditivo independente.

### **Suportes dos alimentadores positivos**

Os suportes dos alimentadores positivos (12) são componentes customizados e desenhados de forma a permitir suportar os PYF da maneira que o fabricante os desenhou, ou seja, através do aperto na parte traseira do PYF (Figura 4.14(a)). Estes componentes são inteiramente fabricados por manufatura aditiva pois é uma técnica simples e acessível para utilização neste protótipo. As cargas a que está sujeito são relativamente baixas, portanto não justifica outros métodos ou materiais de produção.



*Figura 4.14 - a) Suporte de alimentador positivo; b) Base deslizante*

### **Bases deslizantes**

As bases deslizantes do alimentador positivo 1 (28) e do servomotor (27) são também componentes customizados (Figura 4.14(b)). A sua função é permitir deslocar facilmente estes componentes para esticar as correias dentadas ou substituí-las, a adição dos parafusos permite bloqueá-las em qualquer posição. Mais uma vez, como a máquina é apenas um protótipo, estas bases são fabricadas por manufatura aditiva por razões semelhantes aos suportes.

### **Servomotor**

O servomotor (10) escolhido é um *Omron* R88M-G20030H-S2 (Figura 4.15(b)). As especificações necessárias, em termos mecânicos para o motor são a potência e a velocidade. O cálculo da potência necessária foi baseado em testes executados na fase dos testes preliminares. Nestes testes foi utilizado um motor temporário DC de escovas associado a um controlador e um *encoder*. À velocidade de funcionamento, foi possível medir e calcular a potência consumida, que era cerca de 37 W. Assumindo alguma acumulação de pilosidade nos componentes durante o funcionamento, ou fios mais grossos e

pesados é possível concluir que o motor apenas necessita de uma potência de 50 W. Sendo que um motor com 100 W de potência poderia trazer mais alguma flexibilidade ao projeto, caso se desejasse alterar alguns dos requisitos como a velocidade de funcionamento.

A velocidade era outro dos constrangimentos pois devido ao espaço reduzido, seria útil que o motor fosse capaz de funcionar à velocidade necessária para que não fosse necessário recorrer a polias grandes para redução de velocidade por relação de transmissão. Os PYF adquiridos, segundo o fabricante destes componentes, consomem 145,8 mm de fio por rotação da polia dentada. Isto significa que para se atingir uma velocidade no fio de 4,2 m/s, é necessário introduzir uma velocidade angular de 1730 rpm no PYF (Equação (4.1)).

$$4,2 \text{ m/s} = 252 \text{ m/min}$$

$$\frac{252 \text{ m/min}}{145,8 \times 10^3 \text{ m/rot}} = 1728,4 \text{ rot/min} \quad (4.1)$$

Para uma relação de transmissão de 1:1, que não envolve a utilização de uma polia maior no motor (as polias dos PYF tem tamanho fixo), o servomotor idealmente seria capaz de funcionar a 1730 rpm.

A escolha do servomotor a utilizar partiu da equipa do projeto responsável pelo sistema de automação [5]. A proposta dessa parte da equipa foi o *Omron* R88M-G20030H-S2. Com uma potência nominal de 200 W e uma velocidade nominal de 3000 rpm, este motor é mais do que capaz para a função da máquina. Um motor claramente sobredimensionado a nível mecânico, mas foi selecionado pois cumpria os requisitos necessários de potência e velocidade.

### **Suporte do servomotor**

O suporte do servomotor (20) é um componente customizado para ser compatível com a base deslizante. Este suporte é fabricado por manufatura aditiva por razões semelhantes ao resto dos suportes (Figura 4.15(a)).

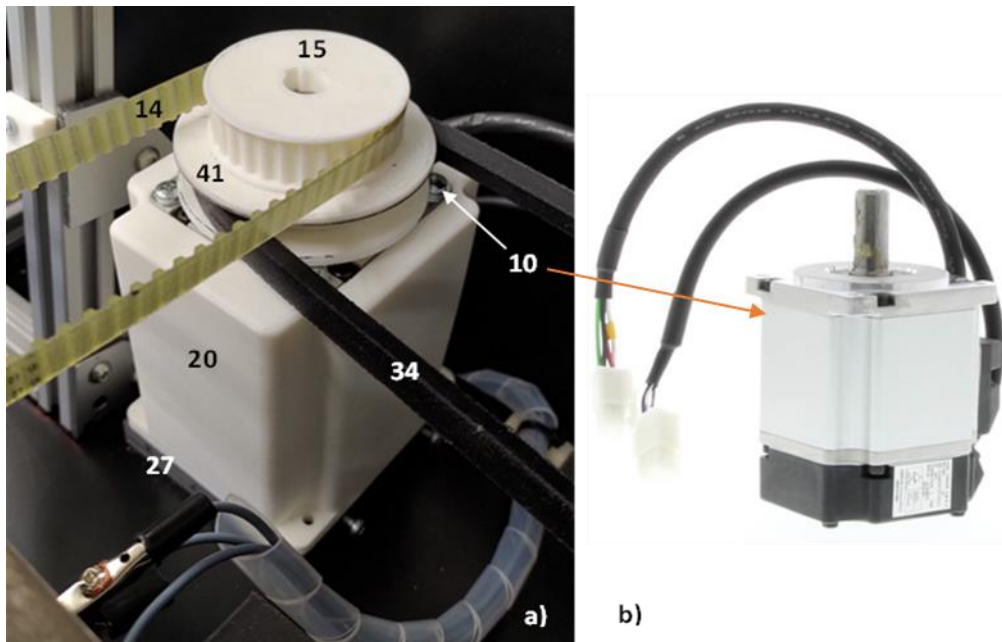


Figura 4.15 - a) Servomotor e suporte, polias e correias e base deslizante; b) Omron R88M-G20030H-S2 [27]

A maior das modificações diz respeito ao número de motores utilizados. O projeto concetual contava com três motores, um para cada alimentador positivo e um para mover o cilindro ranhurado no enrolamento. Por razões económicas, apenas foi possível adquirir um motor. Pelo que se perdeu a capacidade de realizar um controlo ativo da tensão entre os PYF, e, portanto, o detetor de posição de fio já não será necessário.

### **Sistemas de transmissão por correia dentada**

Os dois sistemas de transmissão por correia dentada (entre os PYF e entre servomotor e segundo PYF) foram assim escolhidos para cumprir com o sistema de acionamento já definido pelo fabricante destes aparelhos (eles já incluem as próprias polias dentadas). Os sistemas de transmissão por correia dentada são ótimos para esta aplicação pois não necessitam de pré-tensão e garantem uma relação de transmissão constante (sem escorregamento). Como foi referido anteriormente, a relação de transmissão escolhida foi 1:1 para os dois sistemas.

### **Sistema de transmissão por correia plana**

O sistema de transmissão por correia plana foi escolhido principalmente pela capacidade de definir uma relação de transmissão incomum. Enquanto que um sistema de transmissão por correia dentada seria vantajoso do ponto de vista de diminuição das cargas (pela inexistência de pré-tensão) e da impossibilidade de escorregamento, as relações de transmissão alcançáveis são uma razão entre o

número de dentes das duas polias, ou seja, como a relação de transmissão não é uma divisão exata, este sistema apenas conseguiria uma aproximação. Alternativamente ao sistema de transmissão por correia plana, o sistema de transmissão por correia trapezoidal também permite definição mais exata da relação de transmissão e até menor probabilidade de escorregamento. No entanto, a geometria deste sistema é mais complicada e por razões de aceleração do desenvolvimento do protótipo, optou-se pela opção plana pela facilidade de obtenção das peças por manufatura aditiva. Os testes efetuados demonstram que o sistema de transmissão por correia plana funciona perfeitamente para esta aplicação de baixa carga, sem ocorrência de escorregamento.

A relação de transmissão necessita de ser o mais exata possível pois se as velocidades de consumo de fio não são iguais, ao fim de centenas de metros de análise de fio, a diferença de fio consumido pelo sistema de condução de fio e o sistema de enrolamento pode resultar em quebra de fio (se o sistema de enrolamento consumir mais fio do que o sistema de condução liberta) ou em acumulação de fio e perda de tensão resultando em falha no enrolamento (se o sistema de enrolamento consumir menos fio do que o sistema de condução liberta).

O cálculo para o diâmetro primitivo da polia é o seguinte:

- O motor terá uma velocidade angular de 1730 rpm, equivalente a 28,8(3) rotações por segundo. O PYF avança 0.1458 m por rotação, logo a velocidade tangencial, ou velocidade de movimentação do fio pelo sistema de condução é 4,2039 m/s:

$$v = \omega \times \text{perímetro} \rightarrow v = 28,83 \times 0,1458 \leftrightarrow v = 4,2039 \text{ m/s} \quad (4.2)$$

- Portanto o sistema de enrolamento terá de consumir fio à velocidade de 4,2039 m/s. O cilindro ranhurado e a bobine partilham a velocidade tangencial pois a bobine é movida por atrito à superfície pelo cilindro ranhurado. O que significa que para a bobine de enrolamento consumir fio à velocidade desejada, basta mover o cilindro ranhurado a essa velocidade. O cilindro ranhurado tem um diâmetro de 62 mm, ou seja, um perímetro de 0.19478 m. Ou seja, a relação de transmissão entre o PYF e o cilindro será:

$$i = \frac{\text{perímetro. PYF}}{\text{perímetro. cil}} \rightarrow i = \frac{0.1458}{0.19478} \leftrightarrow i = 0.748542 \quad (4.3)$$

- Assumindo a polia do cilindro com diâmetro primitivo de 62 mm (igual ao diâmetro do cilindro para facilitar), a polia do motor teria um diâmetro de:



$$d_{p\ motor} = d_{p\ cil} \times i \rightarrow d_{p\ motor} = 62 \times 0,748542 \leftrightarrow d_{p\ motor} = 46,4096\ mm \quad (4.4)$$

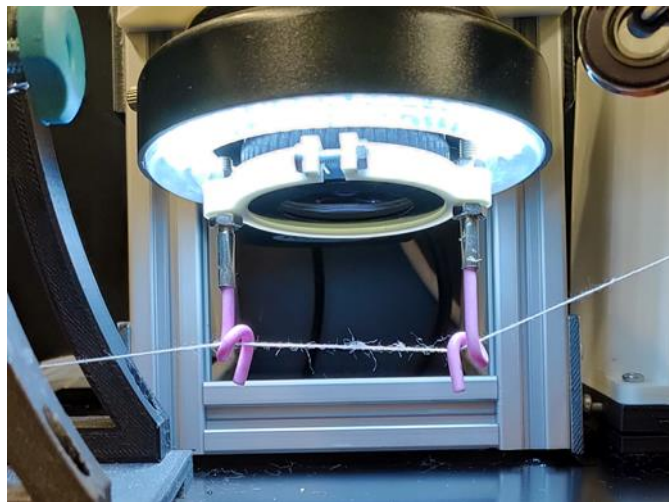
- Arredondando para um valor que a equipa do projeto tem capacidade de produzir, a polia plana do motor terá um diâmetro primitivo de 46,4 mm. Este arredondamento está associado a um erro de 0.0206%, o que significa que ao fim de 1 km de fio analisado, a diferença de fio consumido pelos dois sistemas será de 206 mm.

### **Guias de fio para adaptador para guiamento de fio na lente**

A estrutura de posicionamento e suporte da câmara (26), o adaptador de suporte da câmara (25), a câmara (19), a lente (24), o braço de suporte da lente (47) e a lâmpada de iluminação do fio (21) são componentes pertencentes ao sistema de visão. No entanto o adaptador para guiamento do fio pela lente (22) e as guias de fio para adaptador para guiamento de fio na lente pertencem ao sistema de condução de fio. As guias, tal como o resto das guias na máquina, serão guias cerâmicas. A forma escolhida para estas guias permite a fácil colocação do fio, no entanto, o diâmetro da abertura é um pouco menor que o resto das guias da máquina para maximizar a precisão de posicionamento do fio em frente à lente.

### **Adaptador para guiamento do fio pela lente**

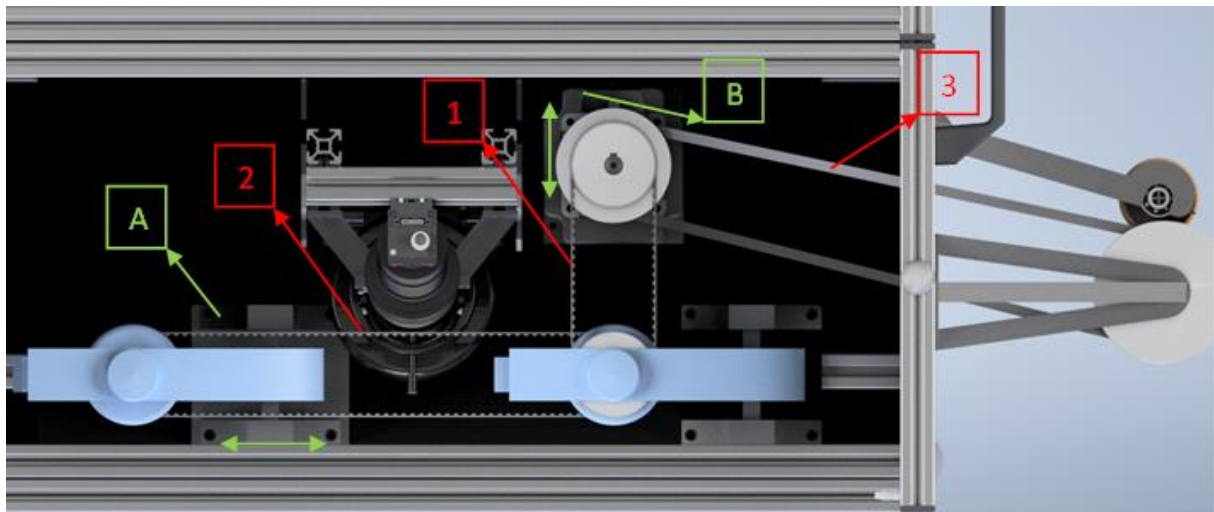
O adaptador para guiamento do fio pela lente (22) é também um componente customizado e fabricado por manufatura aditiva pelas mesmas razões dos restantes suportes.



*Figura 4.16 - Adaptador para guiamento de fio na lente e respetivas guias*

### *Definição da geometria e montagem*

Tal como já foi mencionado, os motores presentes na solução conceptual foram substituídos por 3 sistemas de polias e correias. Para acionar o segundo PYF (11), utiliza-se um sistema de polias e correia dentadas entre o motor e o segundo PYF (identificado na Figura 4.17 como 1 vermelho). Para acionar o primeiro PYF (9), outro sistema de polias e correia dentadas ligam o segundo PYF ao primeiro PYF, fazendo com que os dois se movam solidariamente (identificado como 2). Para acionar o sistema de enrolamento, um sistema de 2 polias e uma correia planas são utilizados (identificado com o número 3). Os sistemas que permitem mover o servomotor e o primeiro PYF para se colocar e retirar as correias sem os desmontar estão identificados na Figura 4.17 com as letras B e A respetivamente. Para tensionar a correia plana, toda a placa base do sistema de condução (8) move-se lateralmente nas extrusões de alumínio (43) montadas horizontalmente.



*Figura 4.17 - Três sistemas de correias identificados a vermelho e dois sistemas de deslizamento identificados a verde.*

A distância entre o primeiro e o segundo PYF foi definida de modo a maximizar o espaço entre os dois, para que seja possível inserir a câmara e seus acessórios em frente ao fio, minimizando o desvio no percurso do fio.

A ordem geral dos componentes é a mesma do sistema conceptual, em que os PYF são usados para isolar as tensões do fio vindas do desenrolamento e do enrolamento. Desta forma, entre os PYF, a variação de tensão é a mínima possível, o que minimiza as vibrações e permite a captura de imagens com elevada qualidade.

Como definido pelos testes preliminares, a distância entre as guias de fio para adaptador para guiamento de fio na lente foi definida em cerca de 50 mm (ver Figura 4.16)

#### 4.3.3 Sistema de Enrolamento

O sistema de enrolamento de fio sofreu uma alteração resultante dos testes e sofreu também alterações devido à substituição dos motores por sistemas de transmissão por correias. Os componentes pertencentes ao sistemas de enrolamento são (ver Figura 4.18):

- Braços de suporte do cilindro ranhurado de enrolamento (componente nº 38 dos desenhos do Apêndice C);
- Polia plana do cilindro ranhurado (componente nº 40);
- Cilindro ranhurado de enrolamento (33);
- Veio do cilindro ranhurado de enrolamento;
- Suportes do braço de suporte da bobine a enrolar (44);
- Braço de suporte da bobine a enrolar (37);
- Bobine a enrolar (6);
- Adaptador para a bobine a enrolar (36);
- Duas molas e quatro rolamentos.



Figura 4.18 - Sistema de enrolamento. À esquerda, vista lateral. À direita vista de topo

## *Seleção e especificação dos componentes*

### **Braços de suporte do cilindro ranhurado de enrolamento**

Os braços de suporte do cilindro ranhurado (38) são componentes customizados e fabricados por manufatura aditiva por razões de simplicidade e acessibilidade dessa tecnologia, tendo em conta que as cargas envolvidas não são estruturalmente relevantes.

### **Polia plana do cilindro ranhurado**

A polia plana do cilindro ranhurado (40) já foi mencionada no subcapítulo 4.3.2 sobre o sistema de condução.

### **Cilindro ranhurado de enrolamento**

O cilindro ranhurado de enrolamento (33) é um componente cuja geometria é complexa e de difícil recriação, pelo que este componente foi adquirido comercialmente. Estes componentes são tipicamente produzidos em baquelite, alumínio anodizado ou aço. Optou-se pela opção mais económica, a baquelite, tendo em conta que o protótipo não terá um número elevado de horas de utilização e o preço das opções mais duradouras não compensaria.

### **Veio do cilindro ranhurado de enrolamento**

O veio do cilindro ranhurado de enrolamento é um componente customizado, onde encaixa o cilindro ranhurado (33) e a polia plana (40) e está montado nos braços de suporte do cilindro ranhurado (38) com dois rolamentos que o permitem rodar livremente. Este componente foi fabricado por manufatura aditiva pelas mesmas razões dos restantes suportes.

### **Braço de suporte da bobine a enrolar e respetivos suportes**

O braço de suporte da bobine a enrolar (37) e os seus suportes (44) são componentes customizados que permitem segurar a bobine de enrolamento sempre em contacto com o cilindro ranhurado (33). São fabricados por manufatura aditiva pelas mesmas razões dos restantes suportes.

### **Bobine a enrolar e seu adaptador**

A bobine a enrolar (6) é a peça onde o fio será enrolado e confere estrutura à bobine enrolada. O adaptador para a bobine (36) serve para segurar a bobine no braço de suporte da bobine (37),

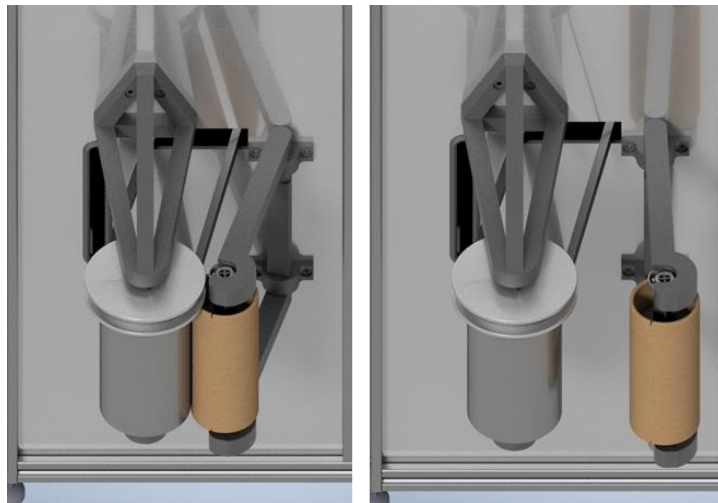
permitindo fácil e rápida desmontagem para trocar a bobine. Ambos os componentes são customizados e fabricados por manufatura aditiva pelas mesmas razões dos suportes.

#### *Definição da geometria e montagem*

Uma alteração derivada dos testes preliminares foi a alteração das dimensões dos braços de suporte do cilindro ranhurado para afastar o cilindro ranhurado da caixa em 50 mm. Sendo a distância atual entre o eixo do cilindro ranhurado e o sistema de condução de fio de 250 mm.

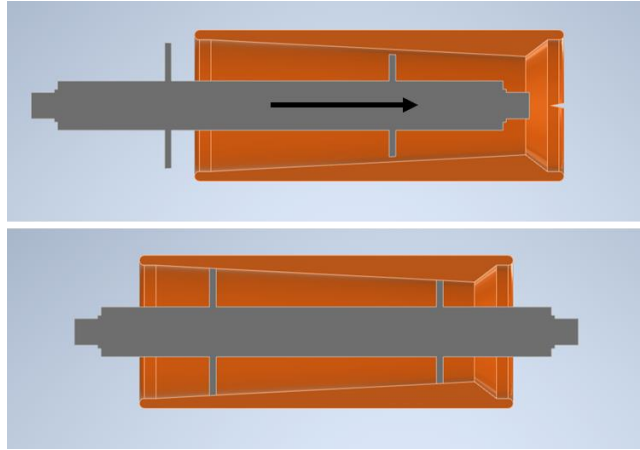
Outra alteração foi que o sistema de enrolamento, por ser agora acionado pela correia e não por um motor próprio, foi orientado para uma posição em que o eixo da bobine (6) e do cilindro (33) são verticais, ao contrário do sistema conceptual em que o sistema de enrolamento se encontrava na horizontal. Foram também adicionadas molas para a bobine (6) exercer mais pressão contra o cilindro ranhurado (33).

Uma característica do braço de suporte da bobine a enrolar (37) e os seus suportes (44) é que a sua geometria permite manter a bobine (6) sempre em contacto com o cilindro ranhurado (33), à medida que a bobine enche com fio e o seu diâmetro aumenta. Isto porque o braço de suporte gira sobre o seu eixo como ilustrado na Figura 4.19.



*Figura 4.19 - Movimento de rotação do braço de suporte da bobine*

Para uma rápida e fácil troca de bobine (6) após o enrolamento, a bobine e o adaptador para a bobine (36) possuem um encaixe cónico que garante a coaxialidade dos dois componentes (ver Figura 4.20).



*Figura 4.20 - Encaixe entre bobine (6) e adaptador da bobine (36)*

Outra característica funcional da geometria da bobine é um pequeno corte que permite prender o fio na preparação do enrolamento como ilustra a Figura 4.21.



*Figura 4.21 - Detalhe na bobine (6) que permite prender o fio*

#### **4.4 Testes gerais e discussão de resultados**

Os testes gerais são os testes realizados após o protótipo final estar concluído. Ao contrário dos testes preliminares, os testes gerais testam todos os subsistemas simultaneamente, com o objetivo de avaliar a máquina como um todo.

O procedimento utilizado foi o procedimento normal de funcionamento da máquina, que envolve:

1. Colocar a bobine a desenrolar no apoio (2);
2. Passar o fio pela guia de desenrolamento (49) e através do furo de entrada de fio na caixa (5);
3. Passar o fio pelo tensionador do primeiro alimentador positivo (9) e prendê-lo na bobine própria do alimentador positivo;
4. Ativar o sistema de controlo da máquina para o motor dar 20 voltas (para garantir o enrolamento mínimo necessário para o funcionamento do PYF);

5. Passar o fio pela guia de saída do PYF, pelas guias do adaptador da lente (22) e depois pela guia de entrada do segundo PYF (11) e prendê-lo na bobine própria do alimentador positivo;
6. Ativar o sistema de controlo da máquina para o motor dar 20 voltas;
7. Passar o fio pela guia de saída do segundo PYF, depois passá-lo pelo rasgo de saída do fio da caixa (45), e por fim passá-lo em volta do cilindro ranhurado por uma das ranhuras e prendê-lo na bobine de enrolamento (6) através do pequeno corte no topo (Figura 4.21) como mostra a Figura 4.8.
8. O último passo é colocar a tampa na máquina e ativar o sistema de controlo da máquina para iniciar o teste [5]. No fim basta retirar o fio e repetir o processo para uma nova análise.

Este teste foi repetido para vários fios de algodão com diversas densidades lineares e para um fio de poliéster, cujas bobines tinham tamanhos e formas variadas.

Os resultados obtidos mostram que a máquina é capaz de desenrolar, conduzir e enrolar com o fio com sucesso, cumprindo todos os requisitos de velocidade, oscilações e uniformidade de bobines, sem ter havido qualquer ocorrência de quebras de fio ou equipamento e nenhuma falha de segurança. Mais ainda, a portabilidade da máquina está assegurada, tendo em conta o seu volume inferior a 0.27 m<sup>3</sup> e peso inferior a 30 kg.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

*Neste capítulo são tecidas algumas conclusões acerca do trabalho desenvolvido bem como algumas sugestões para trabalhos futuros.*



## **5.1 Conclusões**

O projeto apresentado neste documento contribui significativamente para um projeto inovador, com aplicações na indústria têxtil no melhoramento da qualidade dos produtos fabricados.

Os primeiros dois capítulos, a introdução e o estado da arte, permitiram situar o trabalho, revelando a sua importância e enquadramento. Também facilitaram a compreensão deste documento e forneceram os pilares fundamentais em que o projeto se assenta. Primeiro abrindo o caminho para a formação de um projeto baseado em processos racionais, e em segundo desbloqueando o conhecimento necessário para compreender as propriedades do fio têxtil e os sistemas utilizados para o processar.

No capítulo seguinte foram expostos os passos tomados na conceção de um sistema capaz de cumprir os objetivos e as funções definidas, apresentando sempre soluções alternativas e um método menos parcial de avaliação. Posteriormente o sistema encontrado foi detalhadamente desenvolvido, testado, corrigido e re-testado, culminando numa solução final e validada, apesar dos diversos contratemplos que obrigaram a uma reestruturação funcional devido à falta de componentes. O protótipo final, resultante da junção do sistema mecânico com o sistema de automação desenvolvido em [5], cumpre todos os objetivos e requisitos traçados na fase de desenvolvimento do projeto, sendo eles o controlo da velocidade e posicionamento do fio conforme a tolerância, a diversidade de materiais e dimensões de fio e bobines suportados (conforme mostram os testes finais) e ainda a portabilidade e o custo (ver Apêndice D).

É, portanto, possível concluir que o projeto desenvolvido e implementado dá uma resposta muito satisfatória às necessidades que germinaram a sua criação.

## **5.2 Trabalhos Futuros**

Apesar de cumprir os requisitos para as bobines enroladas, estas poderão melhorar em termos de uniformidade. A máquina beneficiaria de um ajuste de altura no fio através da colocação de uma guia de fio após o segundo alimentador positivo.

Seria também benéfico a utilização de alimentadores positivos mais compactos para permitir a colocação da lente em frente ao fio sem o desviar do seu percurso. Um maior número de desvios implica mais atrito e tensão no fio

Para minimizar a entrada de luz dentro da caixa durante o teste, que poderá afetar a qualidade da captura de imagens pela câmara, seria vantajoso explorar a inclusão de pequenas escovas pretas na abertura da caixa para a passagem da correia plana e no rasgo de saída de fio da caixa para impedir o ingresso da luz exterior.

A maior e mais importante alteração que poderá ser realizada no futuro é a inclusão de outro servomotor para permitir o controlo separado dos dois alimentadores positivos e dessa forma ganhar o controlo sobre a tensão exata do fio entre os dois PYF, como estava definido na solução conceptual.

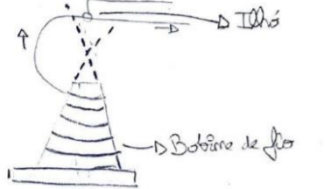
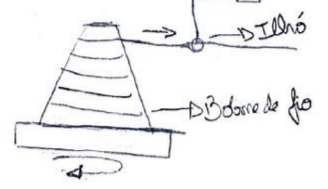

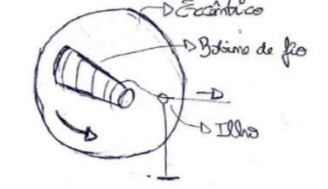
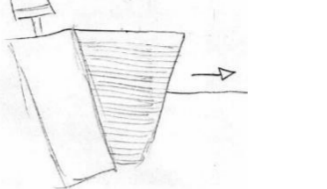

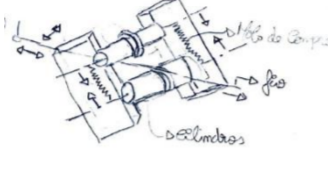

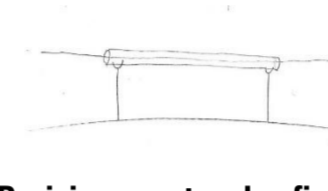


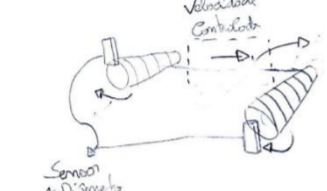

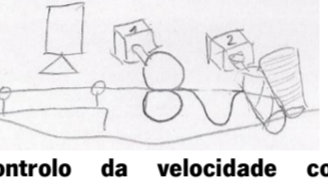
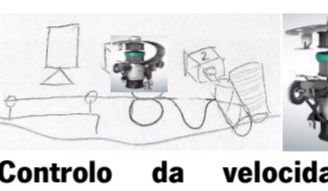
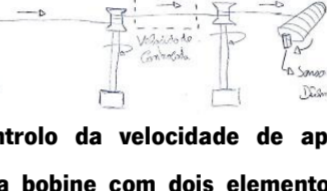
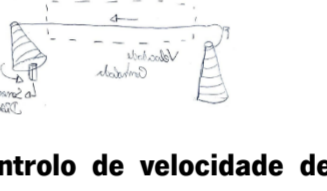
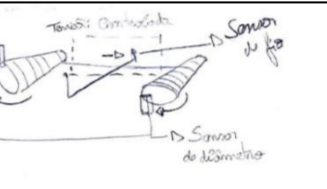

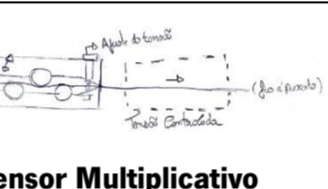
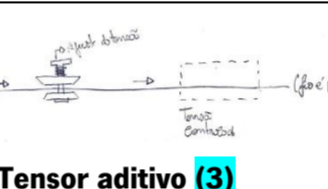
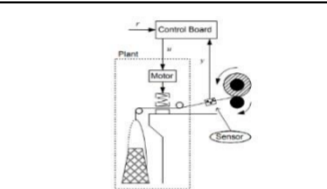
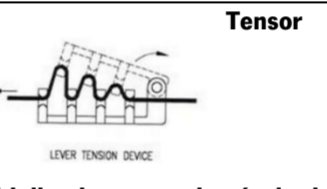
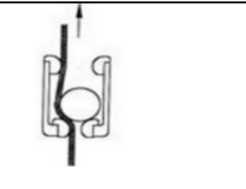
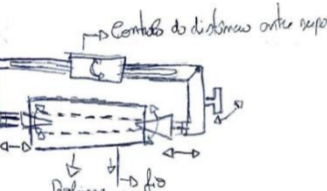
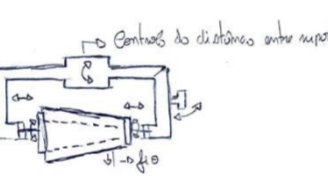


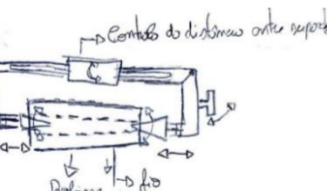
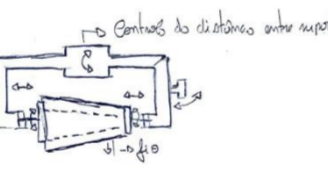
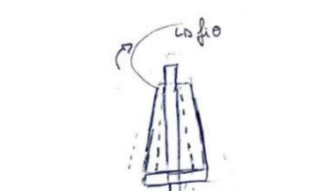

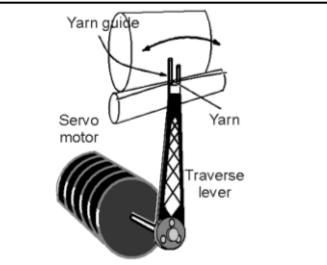
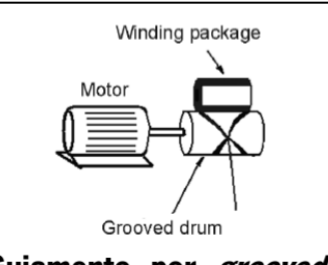
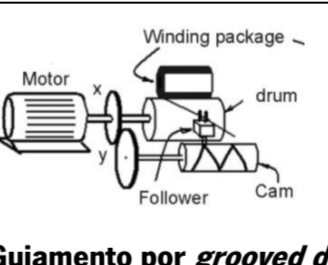
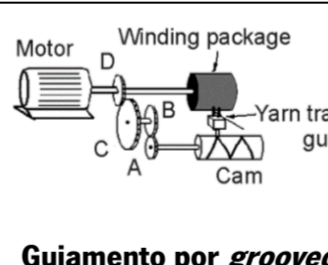
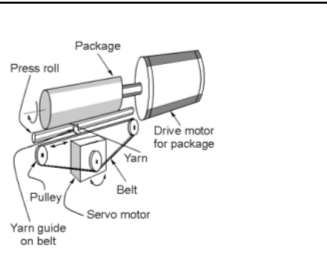
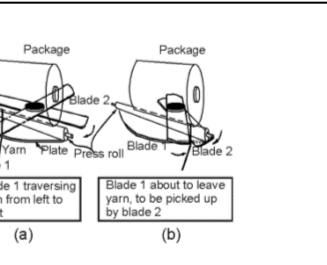
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Pereira, E.L. Oliveira, G.G. Ferreira, F. Sousa, P. Caldas, "Textile Yarn Winding and Unwinding System," in *Innovations in Mechanical Engineering*, J. Machado, F. Soares, J. Trojanowska, E. Otta-viano. Springer, 2021, pp. 347-358.
- [2] F.Pereira, V. Carvalho, F. Soares, R. Vasconcelos e J. Machado, "Computer vision techniques for detecting yarn defects," in *Applications of Computer Vision in Fashion and Textiles*, W.K. Wong. Woodhead Publishing, 2018, pp. 123-145.
- [3] USTER TESTER staple yarn. [Online]. Disponível em: <https://www.uster.com/en/instruments/sta-ple-yarn-testing/uster-tester-staple-yarn> - Acedido em: 06/12/2021.
- [4] A. Sengupta, S. Roy, S. Sengupta, "Development of a low cost yarn parameterisation unitby image processing," *Measurement*, Vol.59, pp. 96-109, janeiro 2015.
- [5] P. Caldas, "Automação de um Sistema de Desenrolamento e Enrolamento de Fio Têxtil", Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2021.
- [6] N. Cross, *Engineering Design Methods*, 3<sup>rd</sup> ed. Chichester: John Wiley & Sons, LTD, 2005.
- [7] *Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products*, VDI 2221, 1987.
- [8] B. C. Goswami, J. G. Martindale e F. L. Scardino, *Textile Yarns – Technology, Structure and Applications*. E.U.A. e Canada: John Wiley & Sons, 1977.
- [9] M. Koranne, *Fundamentals of yarn winding*. New Dehli: Woodhead Publ, 2013.
- [10] M. D. Araújo, E. M. M. Castro, *Manual de Engenhariaia Têxtil Vol.II*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian 1986-1987.
- [11] N. Sharma. (27/05/2017). *Weaving* [Online]. Disponível em: <https://textilerun.blogspot.com/2017/> - acedido em: 01/10/2020
- [12] M. Mahmud. (20/04/2019). *Full concept of winding. Têxtil BD* [Online]. Disponível em: <https://shourov43.blogspot.com/2019/04/full-concept-of-winding.html> - Acedido em: 11/11/2021
- [13] Textnote. (02/09/2013). *What is Yarn Withdrawal? | Types of Yarn Withdrawal | Advantages/Disadvantages of Yarn Withdrawal* [Online]. Disponível em: <https://texnoteblog.wordpress.com/2013/09/02/what-is-yarn-withdrawal-types-of-yarn-withdrawal-advantagesdisadvantages-of-yarn-withdrawal/> - Acedido em: 11/11/2021
- [14] S. Mohammed, "The Mechanism of Package Unwinding", 2007.

- [15] S. Pracek, F. Sluga, K. Mozina, "Oscillations in the Yarn Tension During the Yarn Unwinding from Packages" in *DAAAM International Scientific Book*, Chapter 35. Vienna: DAAAM International, 2011, pp. 433-444.
- [16] Saurer. *Führungsrollen FR35 und FR40 Serie* [Online]. Disponível em: <https://saurer.com/de/komponenten/temco/lagerungen/guide-rollers-fr/fuehrungsrollen-fr-1> - Acedido em 11/11/2021
- [17] CCATM. (2020). *Fiber Production Ceramic Yarn Guides* [Online]. Disponível em: <http://www.ceramic-alumina.com/china-fiber-production-ceramic-yarn-guides-ceramic-guides-for-textile-machines-12667349.html> - Acedido em 11/11/2021
- [18] Oerlikon Barmag. (09/2011). *Wings Yarn guide roller* [Online]. Disponível em: [https://www.oerlikon.com/ecomaXL/manmade-fibers/en/files/oerlikon\\_DL\\_After\\_Sales\\_OBA\\_WINGS\\_Yarn\\_guide\\_roller\\_en.pdf&download=1](https://www.oerlikon.com/ecomaXL/manmade-fibers/en/files/oerlikon_DL_After_Sales_OBA_WINGS_Yarn_guide_roller_en.pdf&download=1) - Acedido em: 11/11/2021
- [19] Z. Chen, M. Xing, "Application and Spinning Performance of Ceramic Yarn Guide" in *DEStech Transactions on Materials Science and Engineering*, 2<sup>nd</sup> ed., Qingdao: ICMEA (2015).
- [20] A. F. W. Coulson B.Sc., F.T.I., M. E. Baird, K. W. Mieszkis, "FRICTIONAL PROPERTIES OF NYLON YARN AND THEIR RELATION TO THE FUNCTION OF TEXTILE GUIDES" in *Journal of the Textile Institute Proceedings*, 46:1, 2009, pp. 101-111.
- [21] Neal Fournier. (27/07/2012). *An Easy and Immediate Upgrade for Industrial Yarn Processing Equipment* [Online]. Disponível em: <https://www.servicethread.com/blog/article/easy-immediate-upgrade-industrial-yarn-processing-equipment-ceramic-guide> - Acedido em: 11/11/2021.
- [22] Ascotex. *Ceramic Yarn Guides* [Online]. Disponível em: <http://www.ascotex.com/Binder2.pdf> - Acedido em 11/11/2021
- [23] NPTEL Homepage. [Online]. Disponível em: <https://nptel.ac.in> - Acedido em: 22/06/2019
- [24] S. Narayana, V. Prasad, "Novel Method for Dynamic Yarn Tension Measurement and Control in Direct Cabling Process", Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, 2005.
- [25] Bhargava, G., S., "Tension generators to control yarn tension", Textile Machinery Accessories and Stores.
- [26] Niederer, K., "Achieving Tension Control in Yarn Processing", International Fibre Journal, Quality Control Instrumentation, 2000, pp.46-52.
- [27] Omron. *R88M-G20030H-S2* [Online]. Disponível em: <https://industrial.omron.pt/pt/products/R88M-G20030H-S2> - Acedido em 03/12/2021.

**APÊNDICE A – MAPA MORFOLÓGICO DO PROJETO**

Tabla A.1 - Mapa Morfológico completo do projeto (os quatro conjuntos de solução escolhidos estão respetivamente assinalados com os números 1,2,3 e 4 e realçados com cores distintas para fácil identificação)

|         |                            | Sub-Soluções   |  |   |  |   |   |  |
|---------|----------------------------|--|--|---|--|---|---|--|
| Funções | Desenrolar o fio           | <br><b>Desenrolamento acima da bobine</b><br><b>(1) (2) (3) (4)</b>               | <br><b>Desenrolamento lateral com a bobine vertical</b>   | <br><b>Desenrolamento lateral com a bobine horizontal</b>  | <br><b>Desenrolamento com a bobine posicionada em um prato excêntrico</b>                         | <br><b>Desenrolamento por atrito com recurso a cilindro motor (4)</b>  |   |  |
|         | Controlar posição          | <br><b>Posicionamento de fio com base em roldanas com perfil em V (1) (2) (4)</b> | <br><b>Posicionamento do fio com base em rolos</b>  | <br><b>Posicionamento do fio com base em um tensor aditivo e sistema de direcionamento</b>               | <br><b>Posicionamento do fio por um tubo transparente</b>   | <br><b>Posicionamento do fio por guias cerâmicos (3)</b>   | <br><b>Posicionamento do fio com um jato de ar</b>                                   |  |
|         | Controlar velocidade       | <br><b>Controlo de velocidade de ambas as bobines</b>                             | <br><b>Controlo da velocidade de apenas uma bobine com um elemento de alimentação positiva intermédio customizado (A)</b> | <br><b>Controlo da velocidade com um elemento de alimentação positiva intermédio customizado (B) (1)</b> | <br><b>Controlo da velocidade com apenas um elemento de alimentação positiva de mercado</b>       | <br><b>Controlo da velocidade de apenas uma bobine com dois elementos de alimentação positiva customizados intermédios (2) (4)</b> | <br><b>Controlo de velocidade de apenas uma bobine sem elementos intermédios (3)</b> |  |
|         | Controlar a tensão         | <br><b>Relação de posição angular de ambas as bobines</b>                        | <br><b>Relação de posição de dois positive yarn feeders customizados (2) (4)</b>   | <br><b>Tensor Multiplicativo</b>  | <br><b>Tensor aditivo (3)</b>  | <br><b>Tensor aditivo ativo (4)</b>   | <br><b>Tensor multiplicativo autoajustável de alavanca (1)</b>                      | <br><b>Tensor multiplicativo autoajustável de bola</b> |
|         | Apoiar a bobine desenrolar | <br><b>Suporte com extremidades cónicas ajustável</b>                           | <br><b>Suporte com extremidades planas ajustável</b>  | <br><b>Suporte simples vertical (1) (2) (3)</b>  | <br><b>Suporte simples com encaixe flexível (4)</b>   |   |   |  |
|         | Apoiar a bobine enrolar    | <br><b>Suporte com extremidades cónicas ajustável (1)</b>                       | <br><b>Suporte com extremidades planas ajustável (4)</b>  | <br><b>Suporte simples vertical</b>  | <br><b>Suporte simples com encaixe flexível (2) (3)</b>   |   |   |  |
|         | Enrolar o fio              | <br><b>Guiamento por servo motor e alavanca</b>                                 | <br><b>Guiamento por grooved drum (1) (2) (3)</b>   | <br><b>Guiamento por grooved drum e guia com relação de transmissão (random winding)</b>               | <br><b>Guiamento por grooved drum e guia com relação de transmissão (precision winding) (4)</b> | <br><b>Guiamento por sistema de movimentação linear acionado por servo motor</b>   | <br><b>Guiamento por laminas rotativas contrárias</b>                              |  |

## APÊNDICE B – RESULTADOS OBTIDOS DO TESTE DE CONDUÇÃO DE FIO

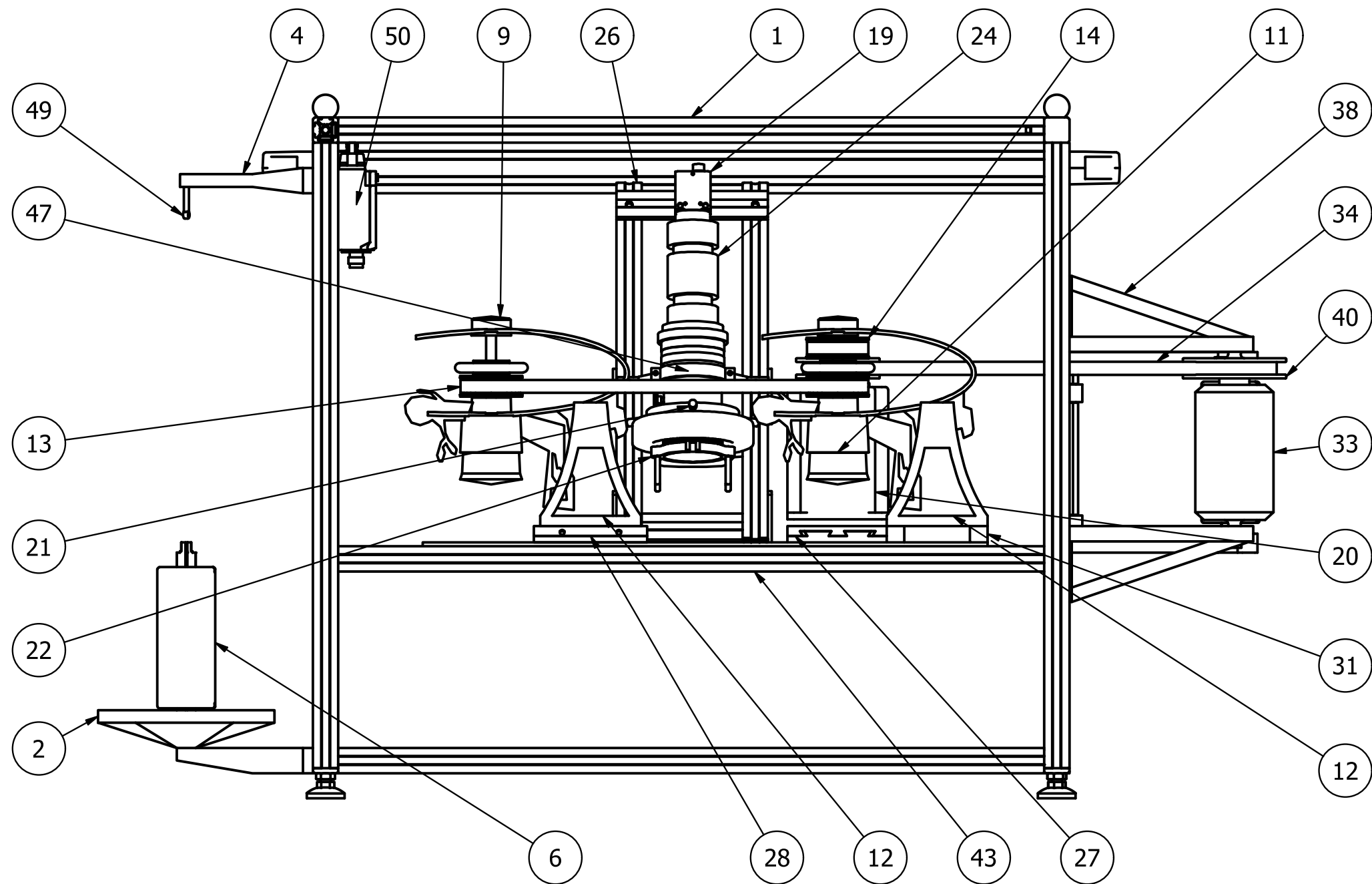
*Tabela B.1 - Resultados obtidos do teste de condução de fio. Entre parênteses está indicada a percentagem de tempo de teste para cada intervalo de amplitude de oscilações.*

| Teste  | Descrição                   | Fio    | Resultado (osc. horiz.)         | Resultado (osc. vert.)                    |
|--------|-----------------------------|--------|---------------------------------|---|
| 1.1.   | Sem guias nem roldanas      | 19 tex | <= 1 mm                         | <= 1.5mm                                  |
|        |                             | 49 tex | <= 1 mm                         | 1mm                                       |
| 1.2.1  | Distância entre guias 50 mm | 19 tex | <= 1 mm                         | <=1 mm (95%)<br><=2 mm (5%)               |
|        |                             | 49 tex | <= 1 mm                         | <= 1 mm (90%)<br>1.5 mm (9%)<br>3 mm (1%) |
| 1.2.2. | Distância entre guias 86 mm | 19 tex | <= 2 mm                         | <= 2 mm (95%)<br><= 3 mm (5%)             |
|        |                             | 49 tex | <= 1 mm                         | <= 1 mm (95%)<br>2 mm (5%)                |
| 1.3.1. | Com roldanas                | 19 tex | <= 1mm                          | <= 1mm                                    |
|        |                             | 49 tex | <= 1 mm (90%)<br><=1.5 mm (10%) | <= 1 mm (90%)<br><=1.5 mm (10%)           |
| 2.1.   | Com tensor do PYF           | 49 tex | impercetíveis                   | -----                                     |
| 2.2.   | Sem tensor do PYF           | 49 tex | <= 1 mm (no início)             | -----                                     |

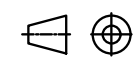
## APÊNDICE C – LISTA DE PEÇAS, VISTAS DETALHADAS DA SOLUÇÃO FINAL E DESENHOS TÉCNICOS DE PEÇAS CUSTOMIZADAS

*Tabela C.1 - Lista das peças numeradas*

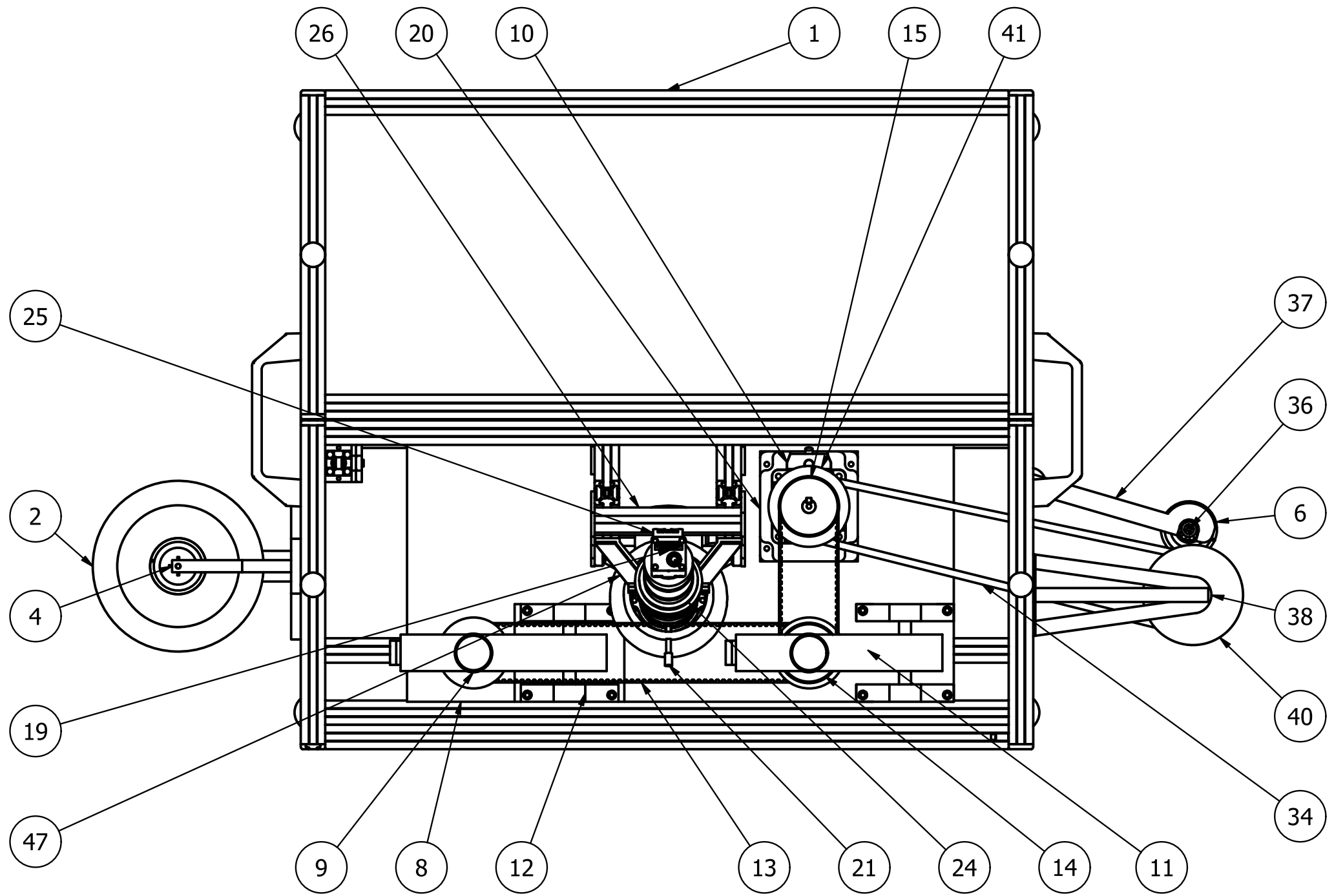
| Nº da Peça | Nome da Peça  |
|------------|---|
| 1          | Caixa exterior da máquina                             |
| 2          | Suporte da bobine a desenrolar                        |
| 4          | Suporte da guia de desenrolamento                     |
| 5          | Furo de entrada do fio na caixa                       |
| 6          | Bobine a desenrolar/enrolar                           |
| 8          | Placa base do subsistema de condução                  |
| 9          | Alimentador positivo 1                                |
| 10         | Servomotor  |
| 11         | Alimentador positivo 2                                |
| 12         | Suporte do alimentador positivo                       |
| 13         | Correia dentada dos alimentadores positivos           |
| 14         | Correia dentada servomotor/ alimentador positivo 2    |
| 15         | Polia dentada do servomotor                           |
| 19         | Câmara  |
| 20         | Suporte do servomotor                                 |
| 21         | Lâmpada de iluminação do fio                          |
| 22         | Adaptador para guiamento do fio da lente da câmara    |
| 24         | Lente   |
| 25         | Adaptador de suporte da câmara                        |
| 26         | Estrutura de posicionamento e suporte da câmara       |
| 27         | Base deslizante do servomotor                         |
| 28         | Base deslizante do alimentador positivo 1             |
| 31         | Suporte de ajuste da altura do alimentador positivo 2 |
| 33         | Cilindro ranhurado de enrolamento                     |
| 34         | Correia plana servomotor/subsistema de enrolamento    |
| 36         | Adaptador para bobine a enrolar/desenrolar            |
| 37         | Braço de suporte da bobine a enrolar                  |
| 38         | Braço de suporte do cilindro ranhurado de enrolamento |
| 40         | Polia plana do cilindro ranhurado de enrolamento      |
| 41         | Polia plana do servomotor                             |
| 43         | Barra de suporte do sistema de condução               |
| 44         | Suportes do braço de suporte da bobine a enrolar      |
| 45         | Rasgo de saída do fio da caixa                        |
| 47         | Braço de suporte da lente                             |
| 49         | Guia de desenrolamento                                |
| 50         | Sensor de abertura de tampa do subsistema de condução |
| 51         | HMI local do equipamento                              |



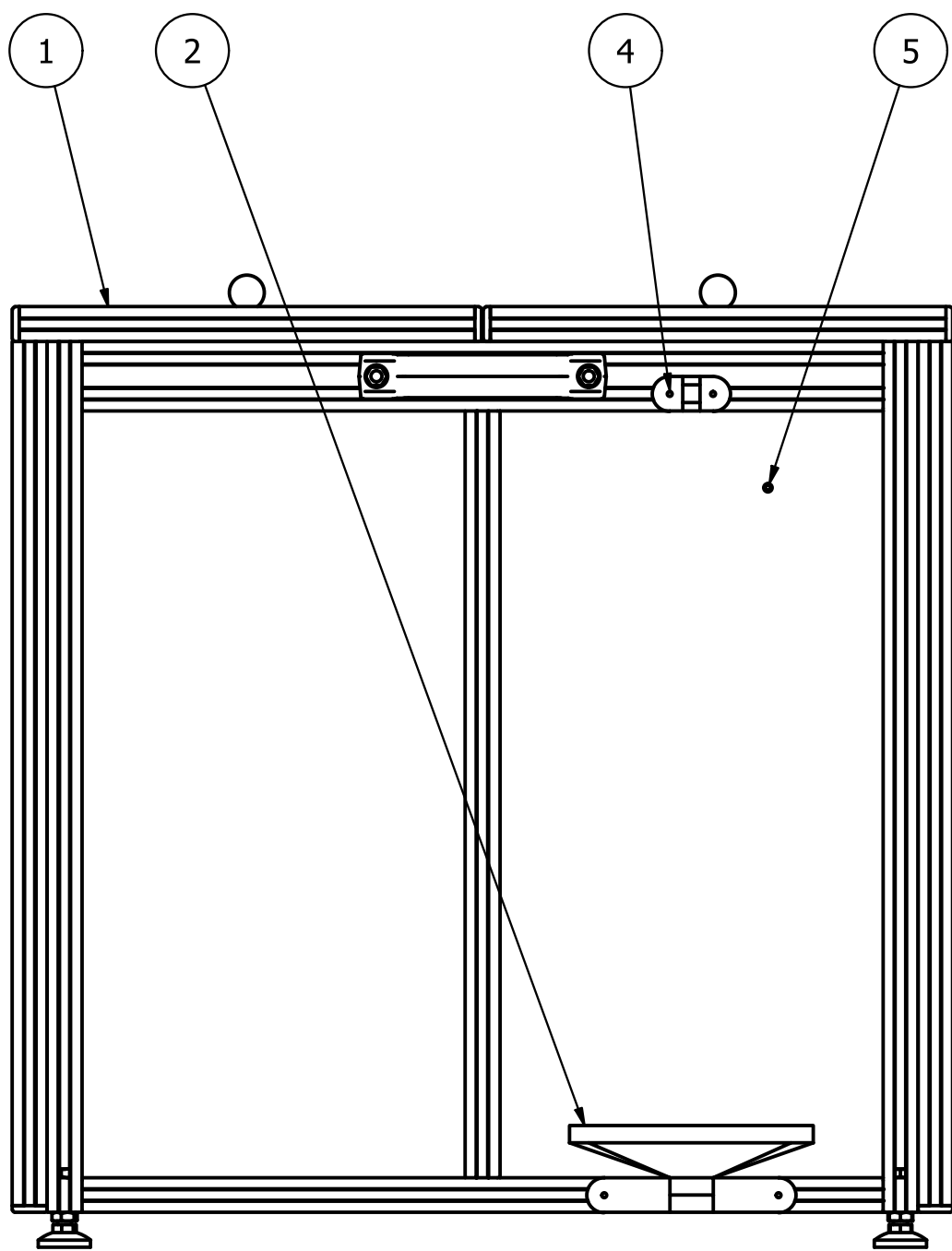
|          |            |              |  |                                     |  |  |  |  |
|----------|------------|--------------|--|-------------------------------------|--|--|--|--|
| Desenha. | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado  | Universidade Do Minho               |  |  |  |  |
| Copiado  |            |              |  | Departamento de Engenharia Mecânica |  |  |  |  |
| Verific. |            |              |  |                                     |  |  |  |  |
| Visto    |            |              |  |                                     |  |  |  |  |
| Escalas  | 1 : 4      |              |  | Vista de Frente - Solução Final     |  |  |  |  |
| Toleran. |            |              |  |                                     |  |  |  |  |
|          |            |              | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Substituí o des. nº</span> <span>Substituído por:</span> </div> |                                     |  |  |  |  |





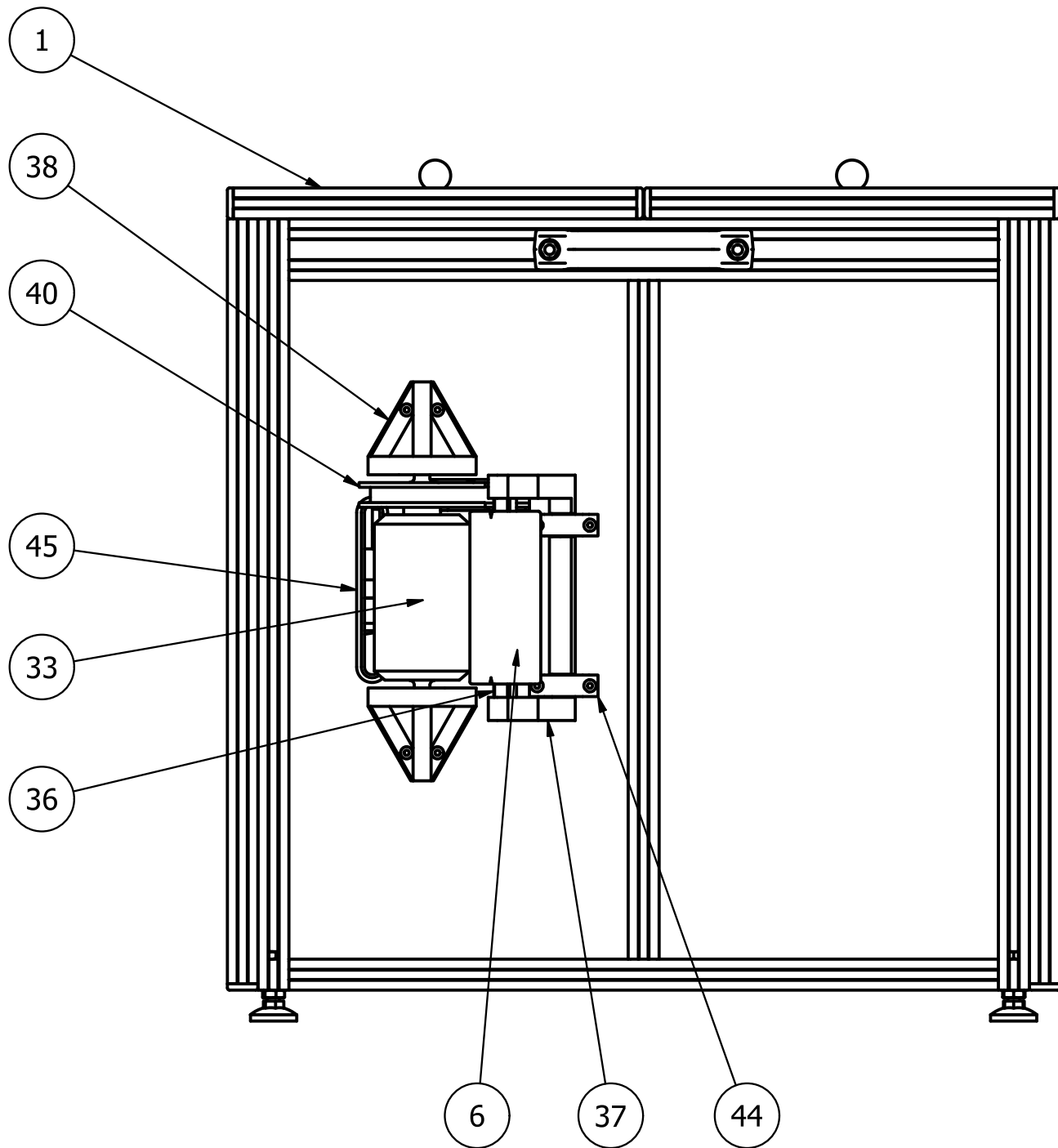






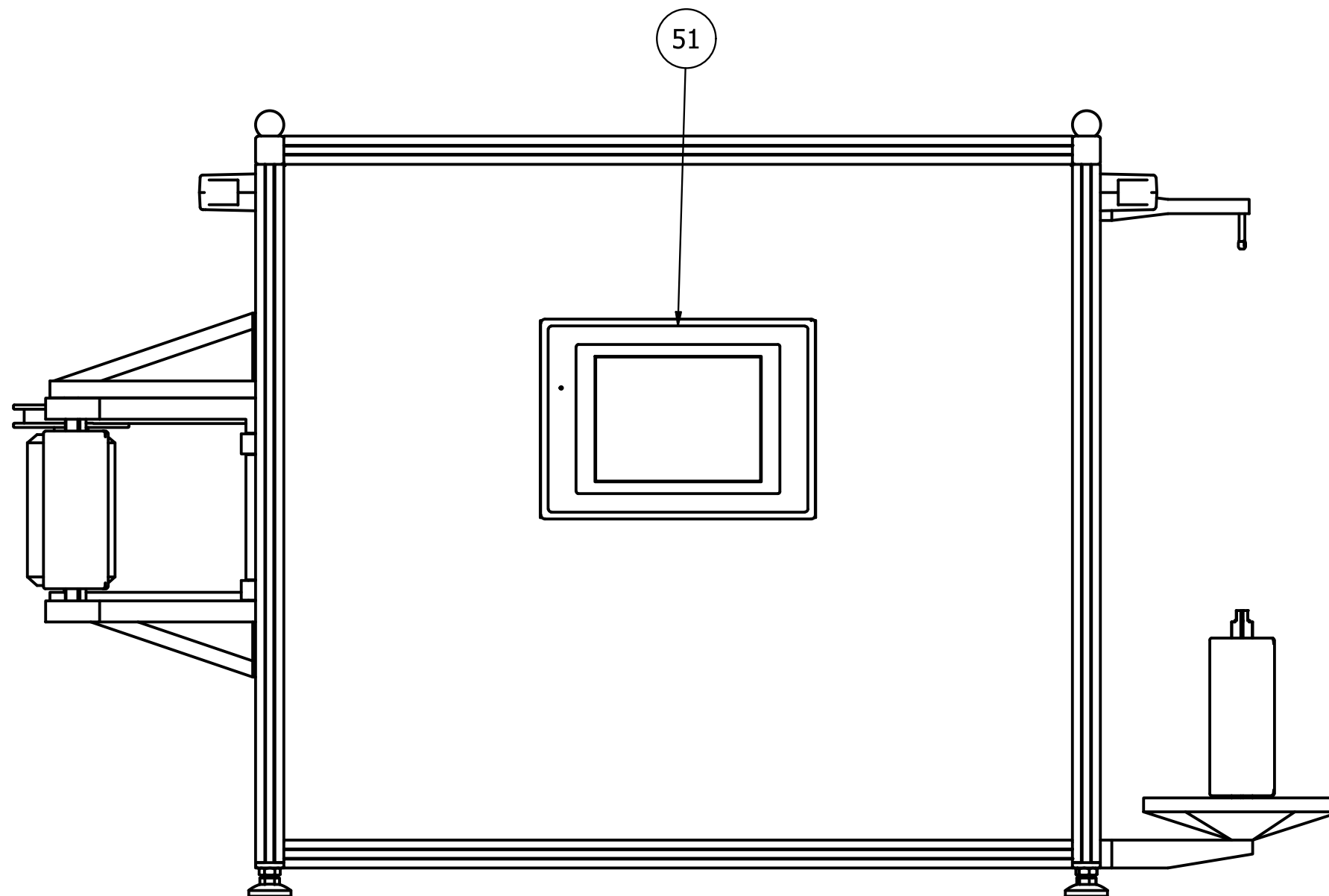
|          |            |              |                         |                                     |  |  |  |  |
|----------|------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|
| Desenha. | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |  |  |  |
| Copiado  |            |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |  |  |  |
| Verific. |            |              |                         |                                     |  |  |  |  |
| Visto    |            |              |                         |                                     |  |  |  |  |
| Escalas  | 1 : 4      |              |                         | Vista de Topo - Solução Final       |  |  |  |  |
| Toleran. |            |              |                         |                                     |  |  |  |  |
|          |            |              |                         |                                     | Sustitui o des. nº<br>Substituído por: |  |  |  |





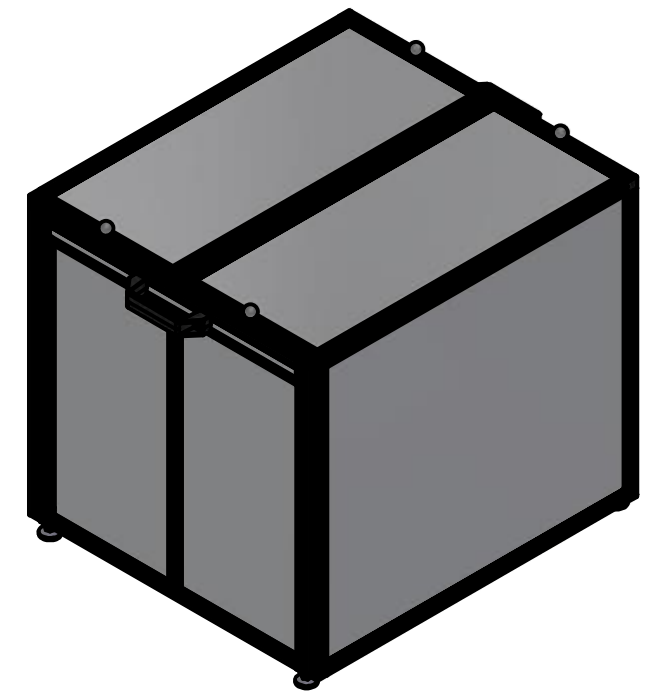
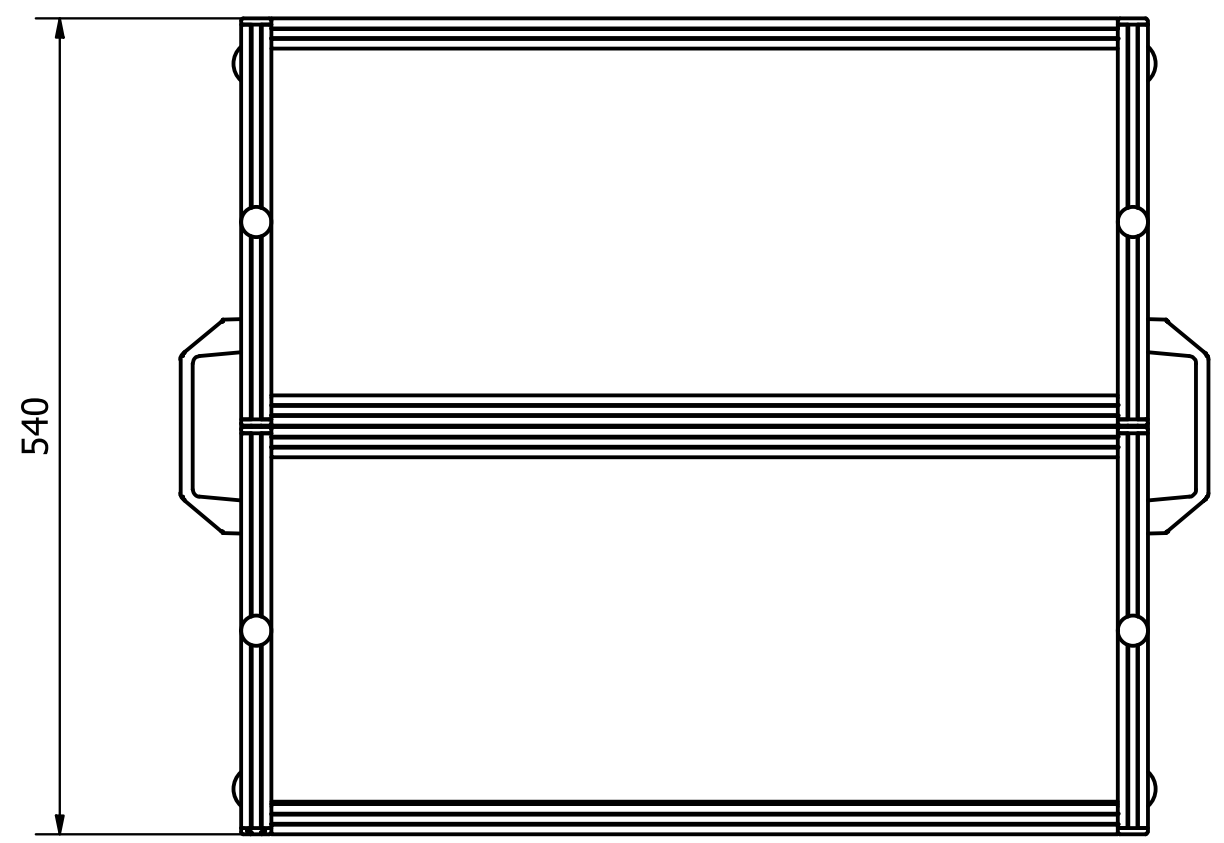
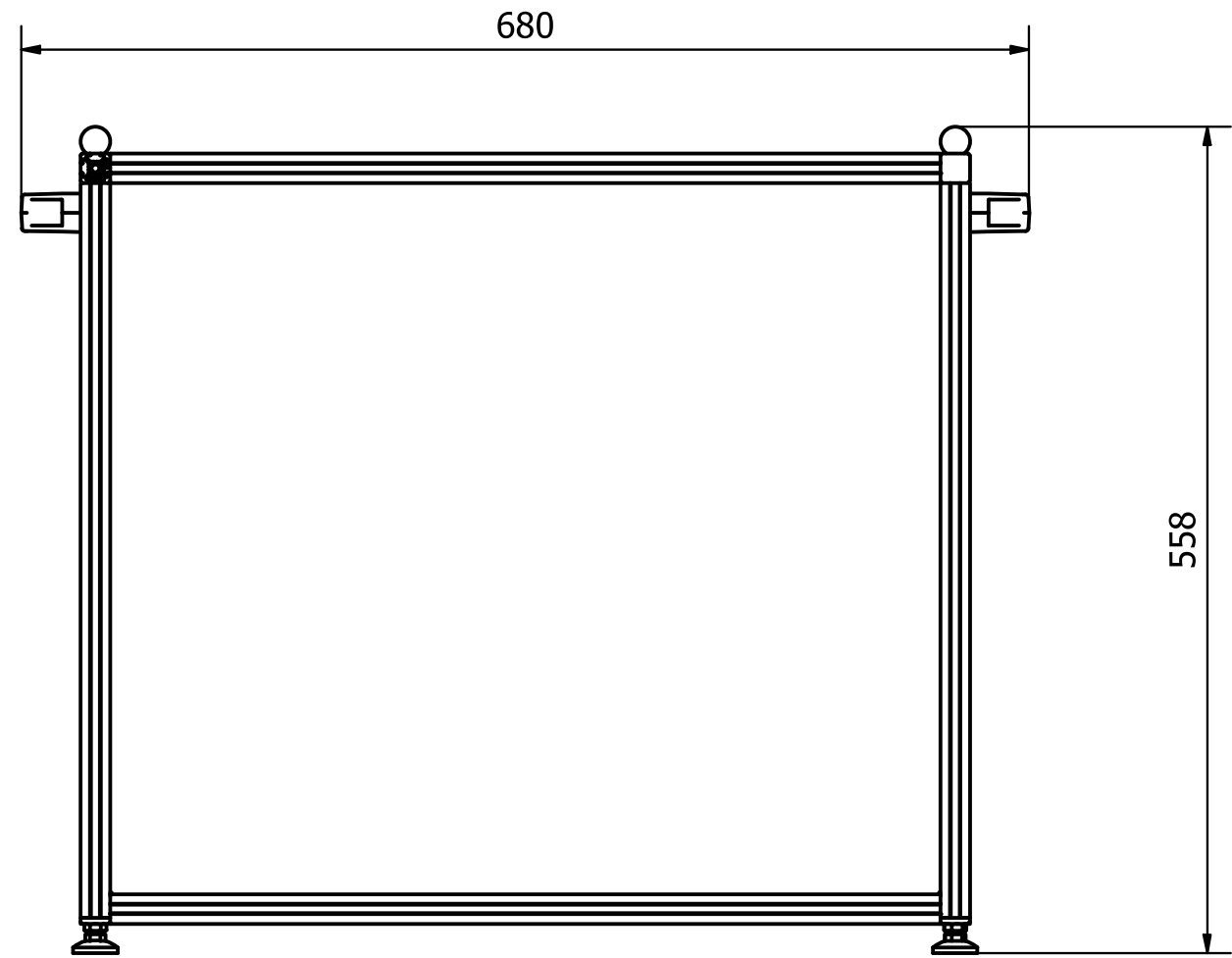
|          |   |              |   |                                     |  |
|----------|---|--------------|---|-------------------------------------|--|
| Desenha. | 21/12/2021                                      | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado   | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado  |   |              |   | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific. |   |              |   |                                     |  |
| Visto    |   |              |   |                                     |  |
| Escalas  | Vista de Lateral Esquerda<br>-<br>Solução Final |              |   |                                     |  |
| 1 : 4    |   |              |   |                                     |  |
| Toleran. |   |              |   |                                     |  |
|          |   |              |   |                                     |  |
|          |   |              | Sustitui o des. nº  |                                     |  |
|          |   |              | Substituído por:  |                                     |  |



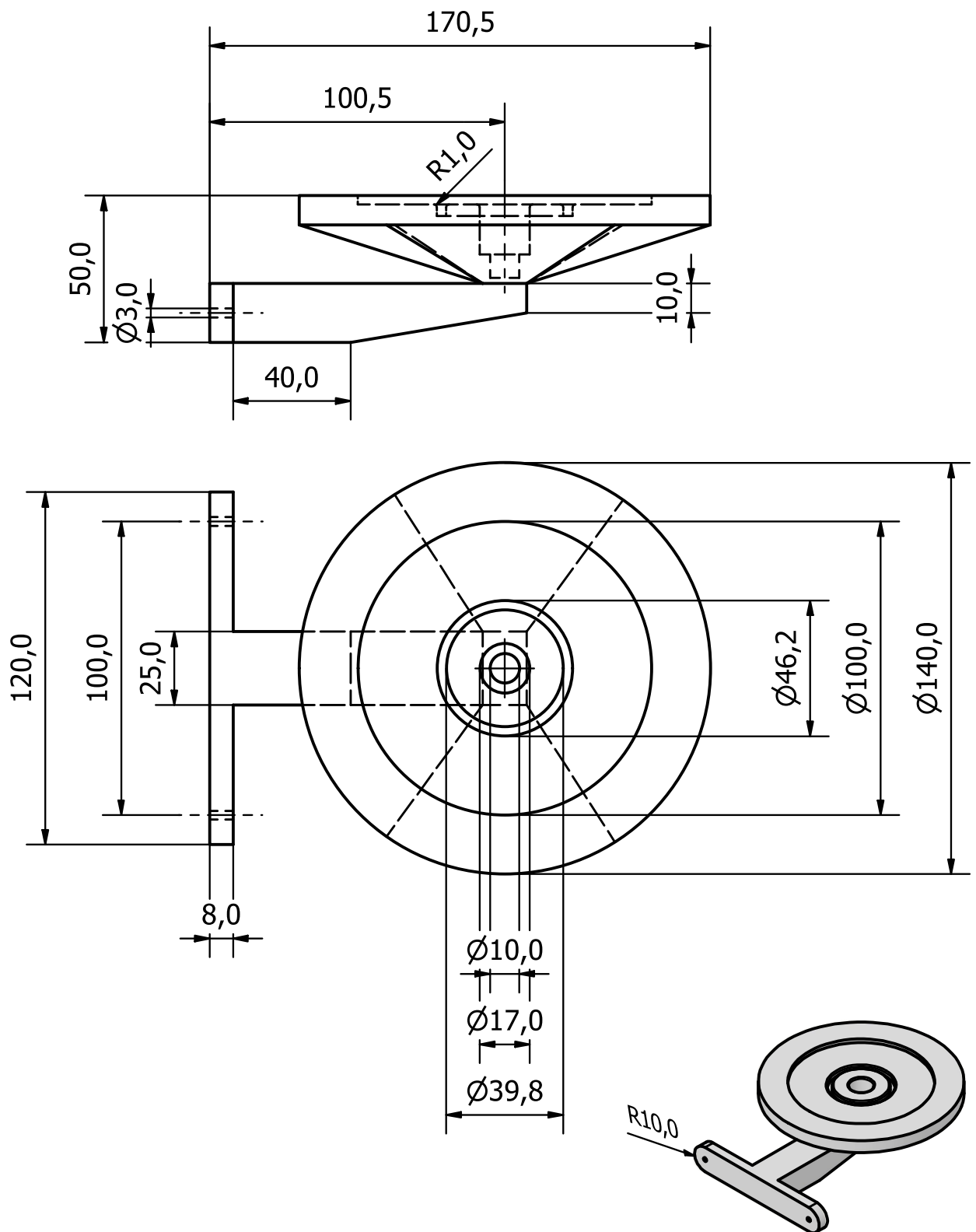
|          |  |              |   |                                     |  |
|----------|--|--------------|---|-------------------------------------|--|
| Desenha. | 21/12/2021                                     | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado   | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado  |  |              |   | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific. |  |              |   |                                     |  |
| Visto    |  |              |   |                                     |  |
| Escalas  | Vista de Lateral Direita<br>-<br>Solução Final |              |   |                                     |  |
| 1 : 4    |  |              |   |                                     |  |
| Toleran. |  |              |   |                                     |  |
|          |  |              |   |                                     |  |
|          |  |              | Sustitui o des. nº  |                                     |  |
|          |  |              | Substituído por:  |                                     |  |



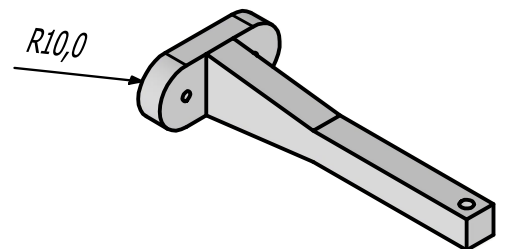
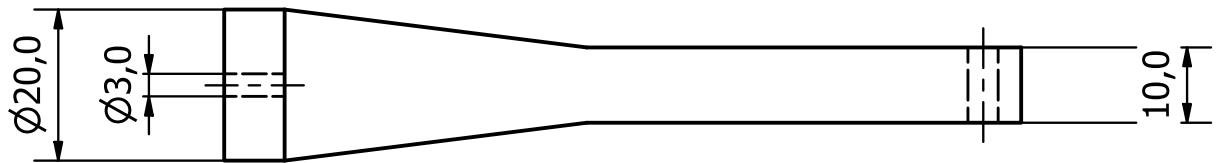
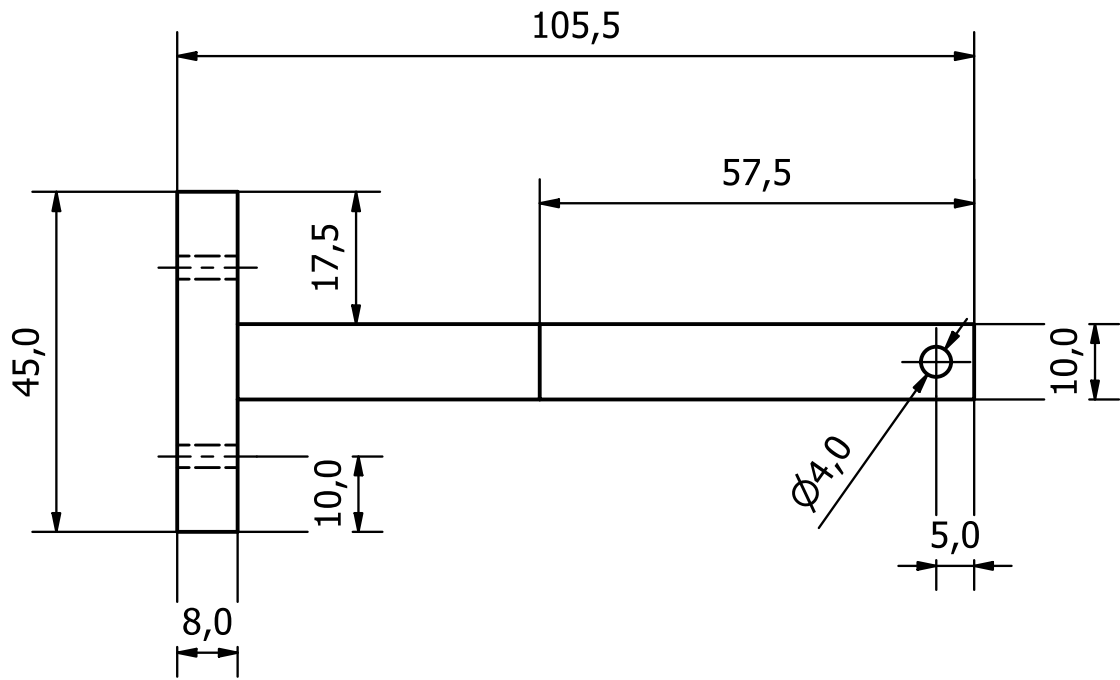
|          |            |              |   |                                     |                    |
|----------|------------|--------------|---|-------------------------------------|--------------------|
| Desenha. | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado   | Universidade Do Minho               |                    |
| Copiado  |            |              |   | Departamento de Engenharia Mecânica |                    |
| Verific. |            |              |   |                                     |                    |
| Visto    |            |              |   |                                     |                    |
| Escalas  | 1 : 4      |              | Vista de Traseira - Solução Final   |                                     |                    |
| Toleran. |            |              |   |                                     |                    |
|          |            |              |   |                                     | Sustitui o des. nº |
|          |            |              |   |                                     | Substituído por:   |



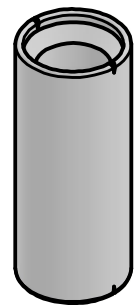
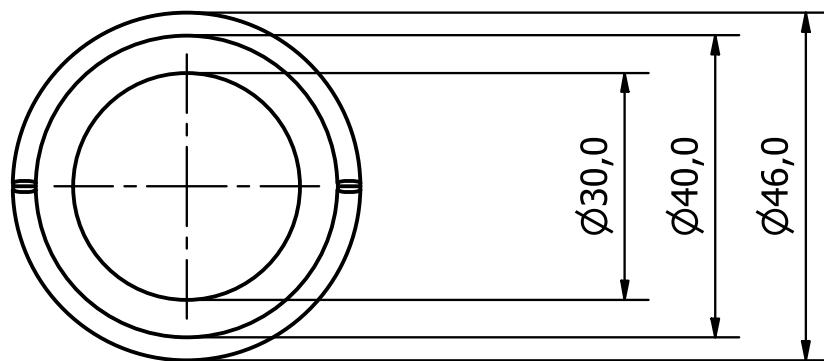
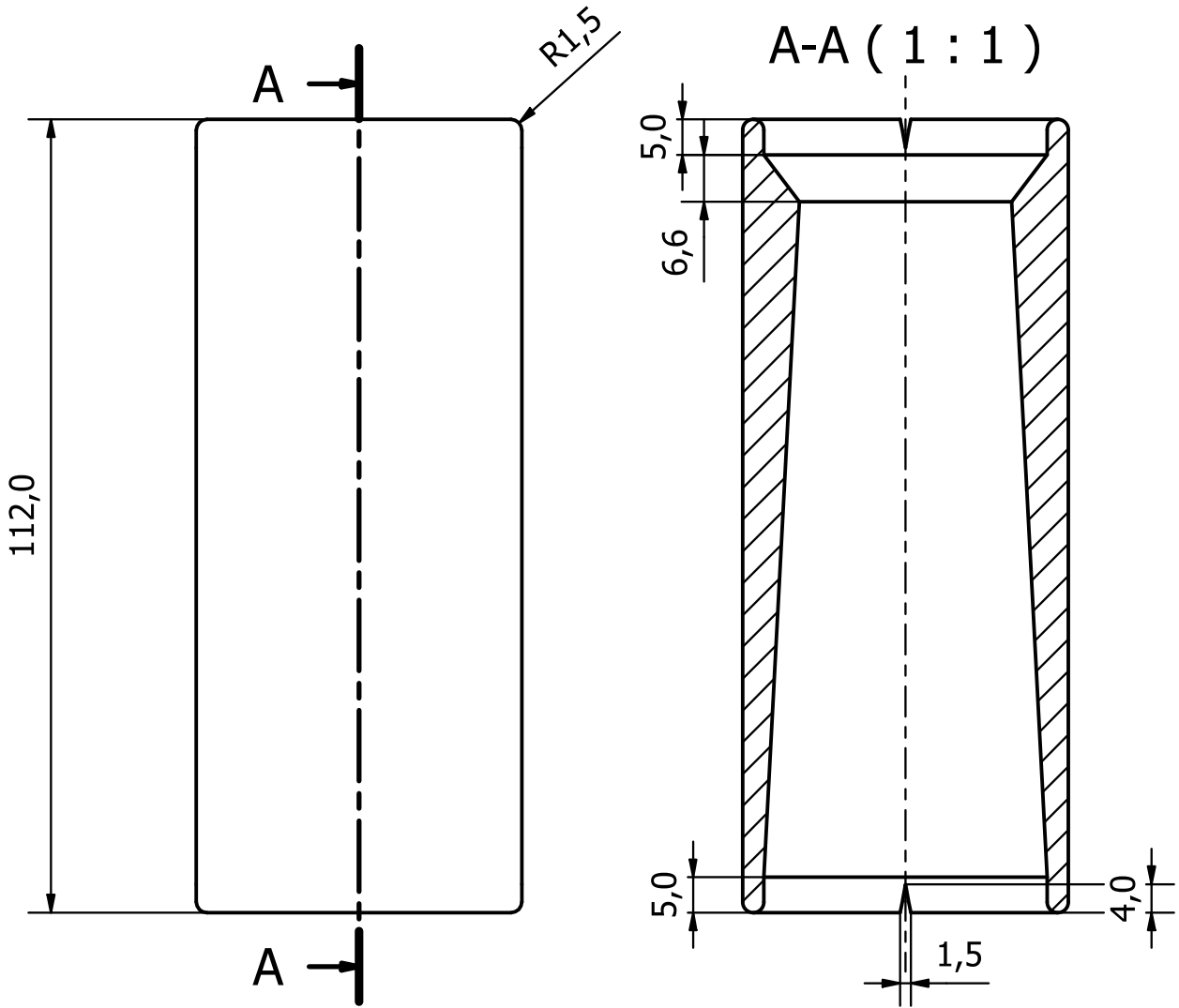
|            |            |              |                           |                                     |  |
|------------|------------|--------------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado   | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |            |              |                           | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |            |              |                           | 1                                   |  |
| Visto      |            |              | Caixa exterior da máquina |                                     |  |
| Escalas    | 1 : 5      |              |                           |                                     |  |
| Toleran.   |            |              |                           |                                     |  |
| ISO 2768-m |            |              |                           |                                     |  |
|            |            |              |                           | Sustitui o des. nº                  |  |
|            |            |              |                           | Substituído por:                    |  |



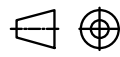
|            |                                |              |                         |                                     |  |
|------------|--------------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021                     | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |                                |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |                                |              |                         | 2                                   |  |
| Visto      |                                |              |                         |                                     |  |
| Escalas    | Suporte da bobine a desenrolar |              |                         |                                     |  |
| 1 : 2      |                                |              |                         |                                     |  |
| 1 : 4      |                                |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |                                |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |                                |              |                         | Substitui o des. nº                 |  |
|            |                                |              |                         | Substituído por:                    |  |



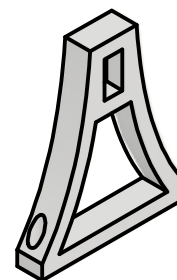
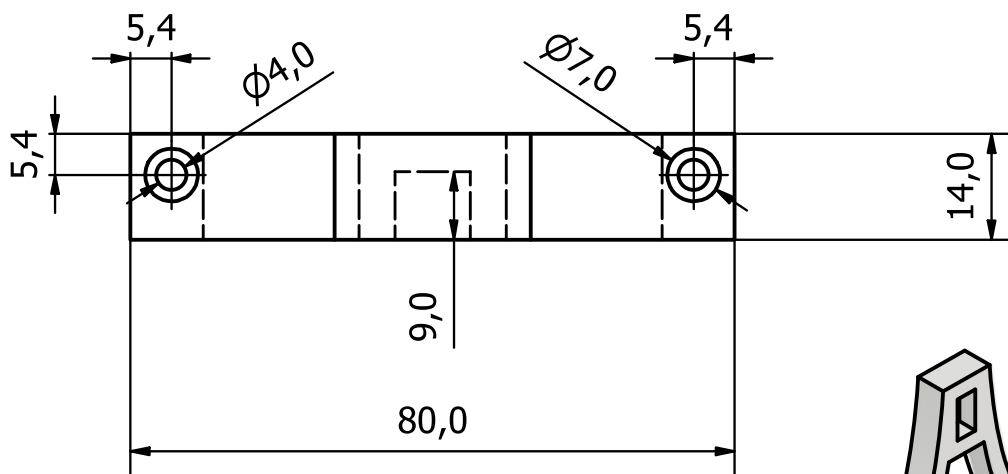
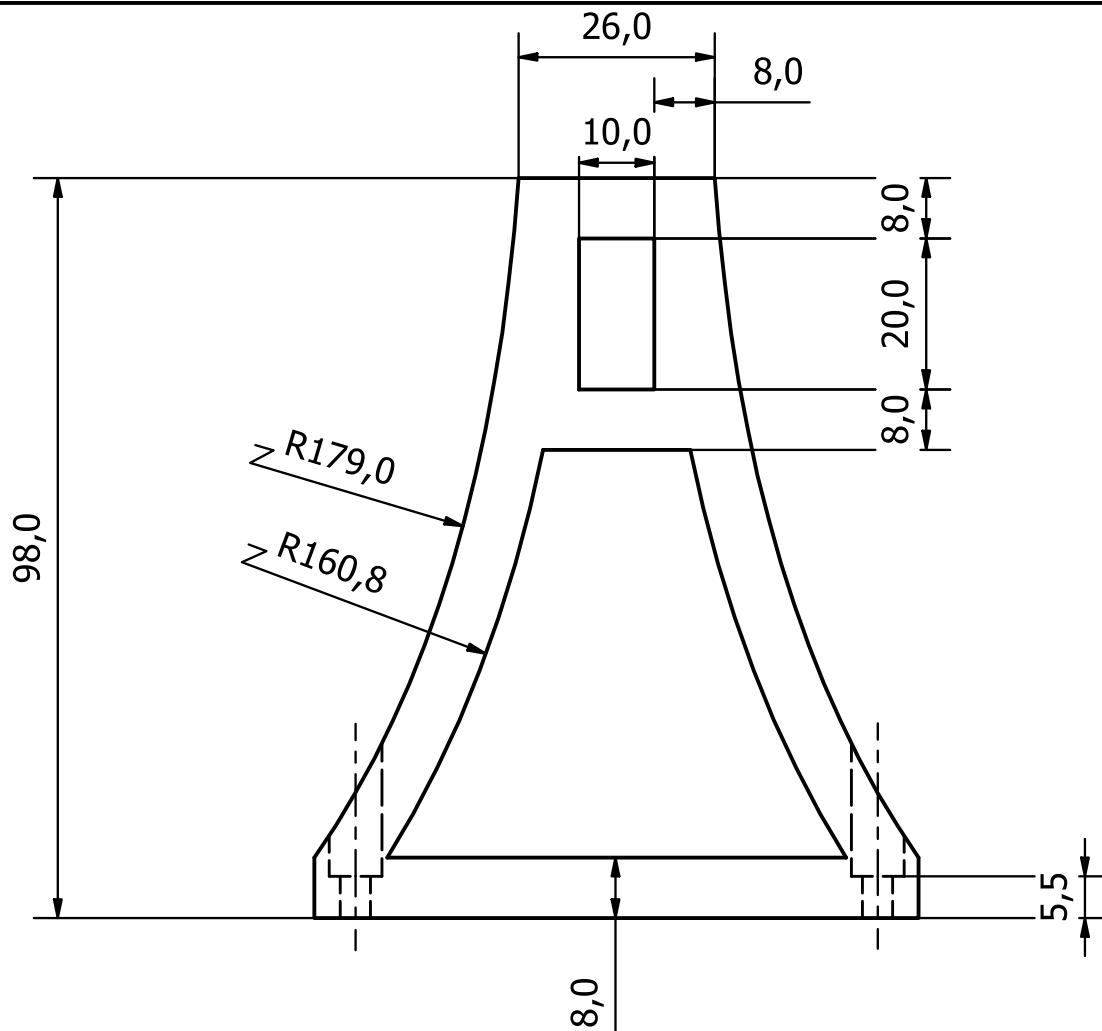
|          |            |              |   |  |  |
|----------|------------|--------------|---|--|--|
| Desenha. | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado   | Universidade Do Minho  |  |
| Copiado  |            |              |   | Departamento de Engenharia Mecânica  |  |
| Verific. |            |              |   | 4  |  |
| Visto    |            |              |   | Suporte da guia de desenrolamento  |  |
| Escalas  | ISO 2768-m |              |   | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>1 : 1</span> <span>1 : 2</span> </div> |  |
| Toleran. |            |              |   |  |  |
|          |            |              | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>Substitui o des. nº</span> <span>Substituído por:</span> </div> |  |  |



|            |                             |              |                         |                                     |  |
|------------|-----------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021                  | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |                             |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |                             |              |                         | 6                                   |  |
| Visto      |                             |              |                         | Sustitui o des. nº                  |  |
| Escalas    | Bobine a desenrolar/enrolar |              |                         | Substituído por:                    |  |
| 1 : 1      |                             |              |                         |                                     |  |
| 1 : 3      |                             |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |                             |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |                             |              |                         |                                     |  |

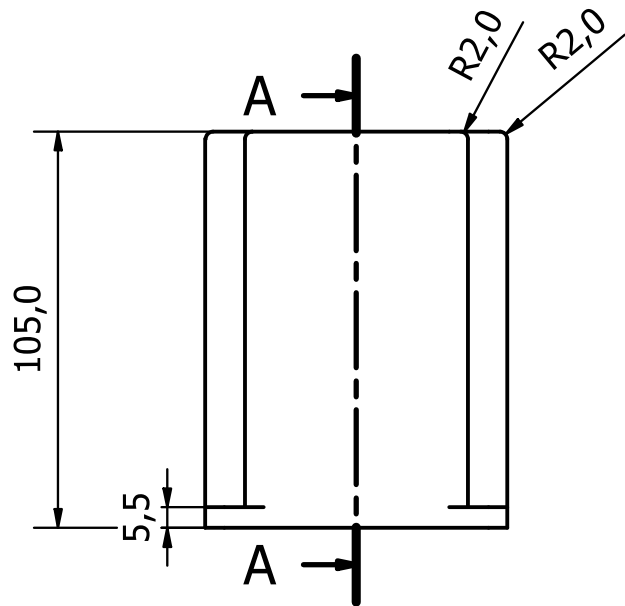




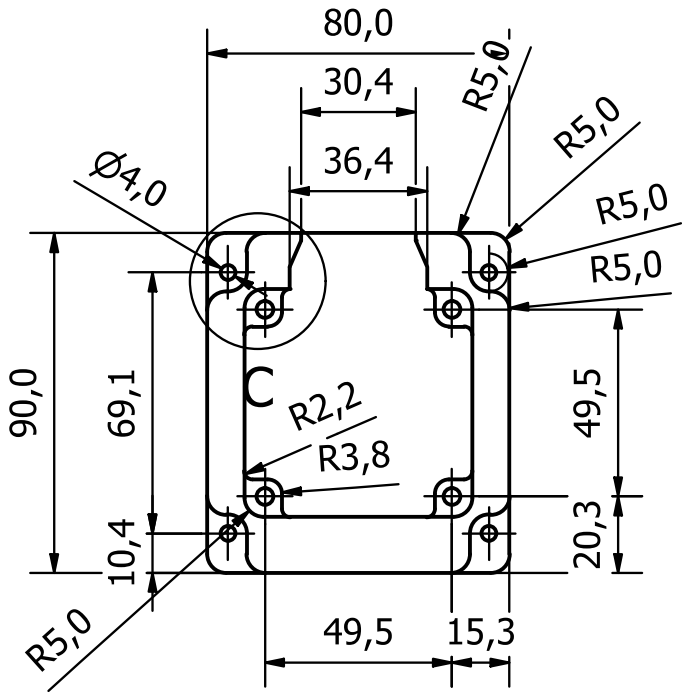
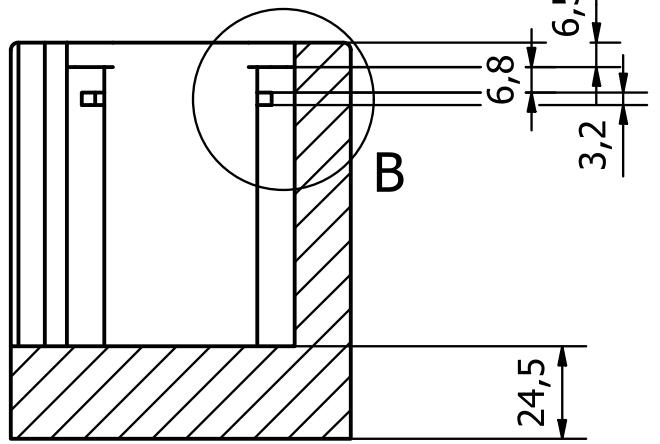


|            |                                 |              |                         |                                     |  |
|------------|---------------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021                      | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |                                 |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |                                 |              |                         | 12                                  |  |
| Visto      |                                 |              |                         |                                     |  |
| Escalas    | Suporte do alimentador positivo |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |                                 |              |                         |                                     |  |
| 1 : 3      |                                 |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |                                 |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |                                 |              |                         | Substitui o des. nº                 |  |
|            |                                 |              |                         | Substituído por:                    |  |

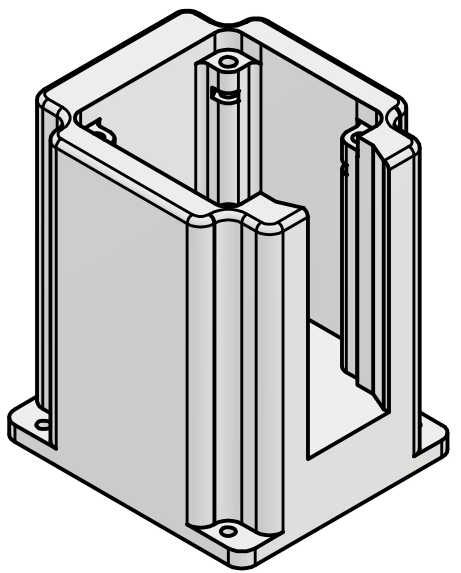
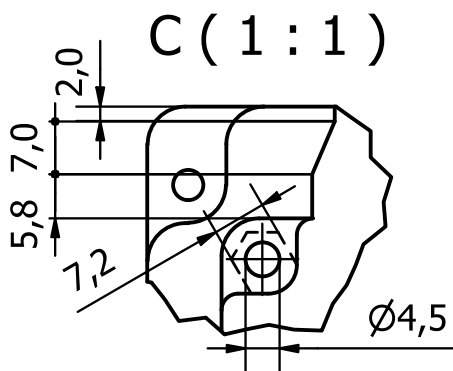
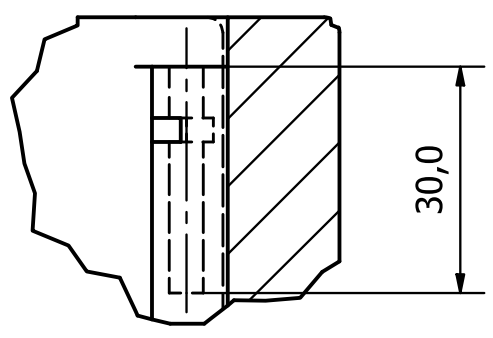




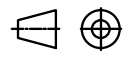
A-A ( 1 : 2 )

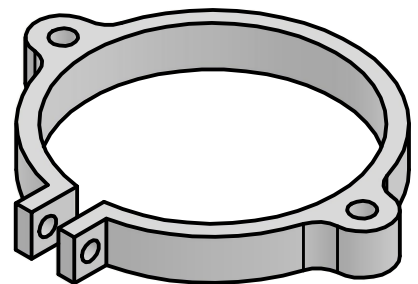
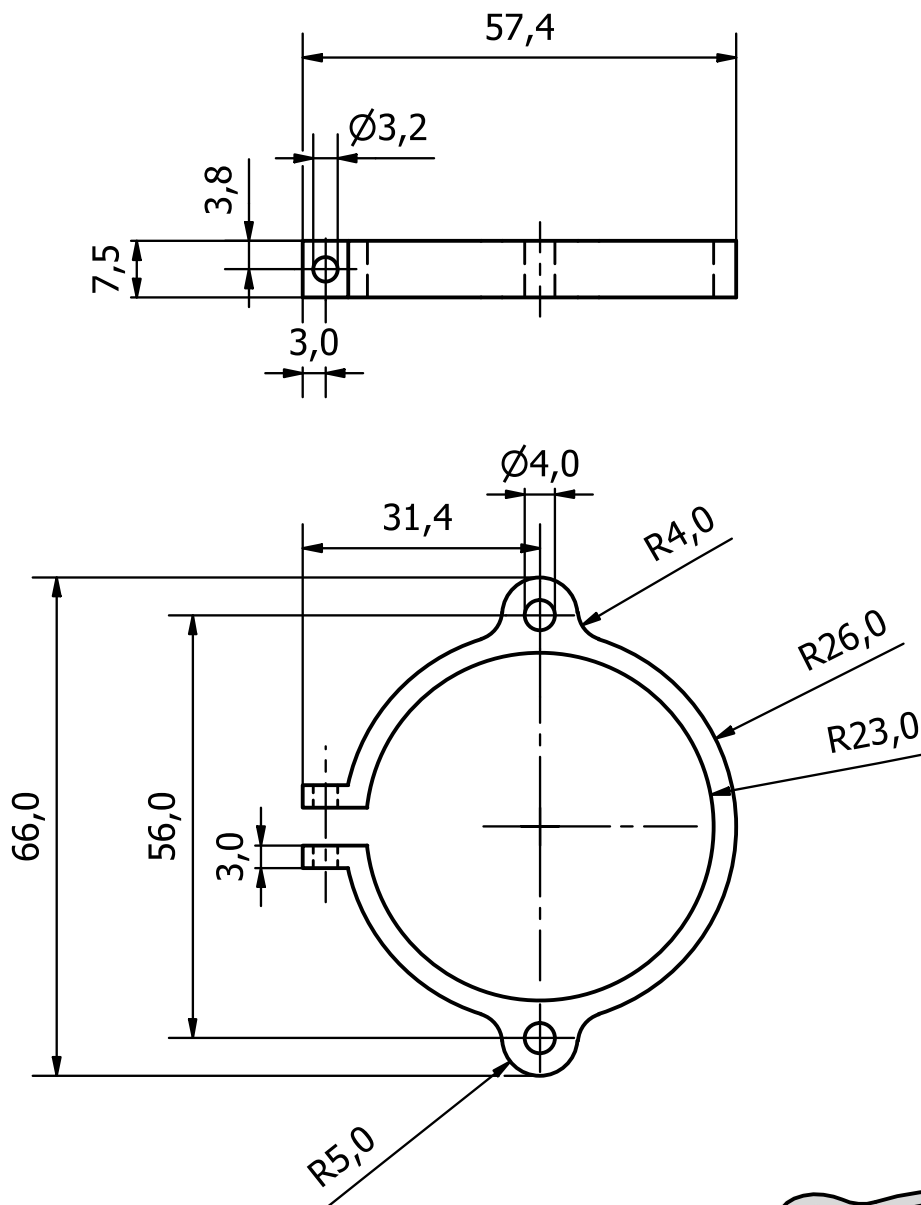


B ( 1 : 1 )

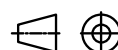


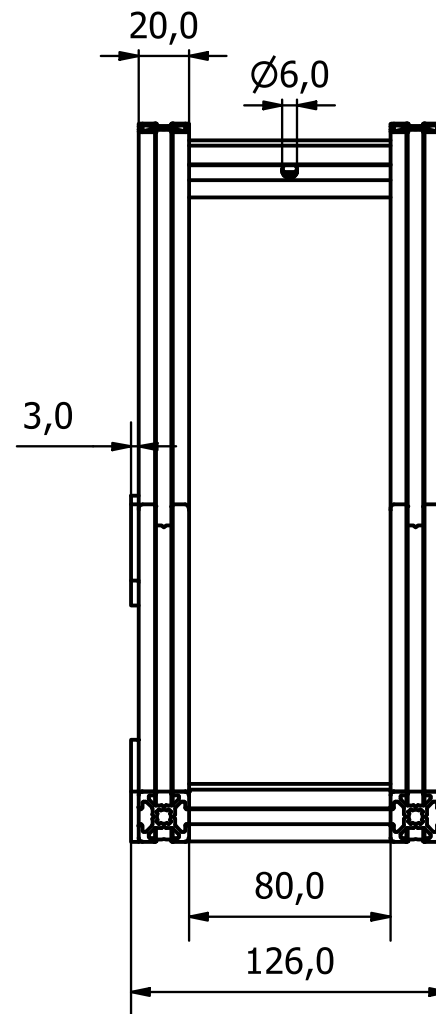
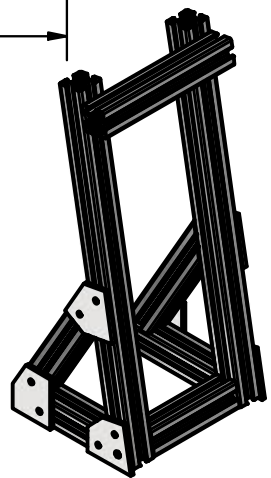
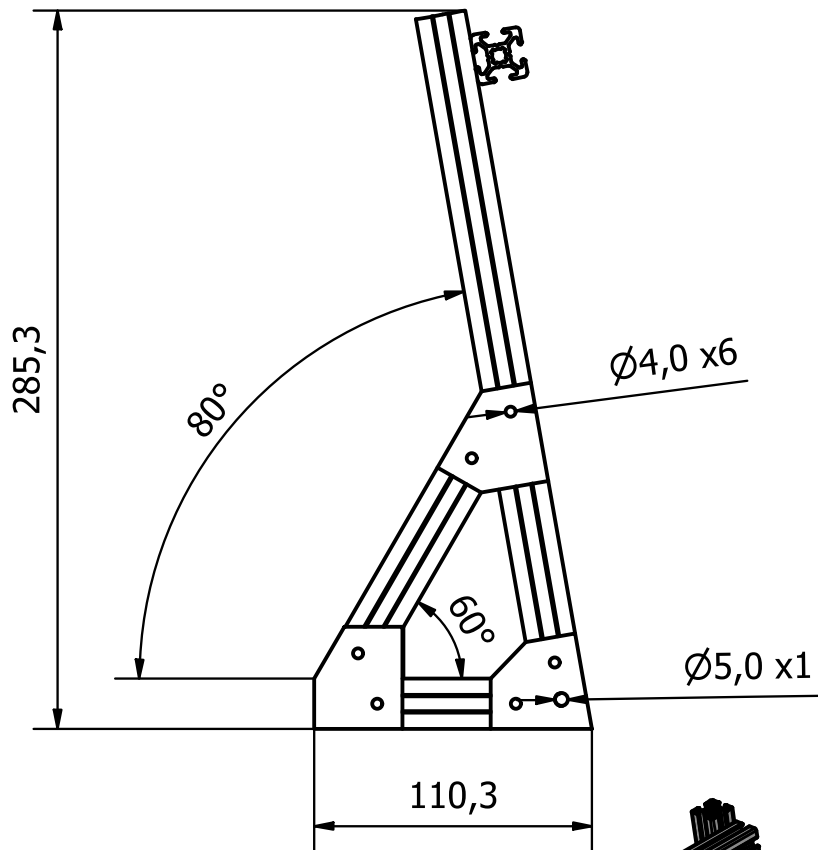
|            |                       |              |                         |                                     |  |
|------------|-----------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021            | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |                       |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |                       |              |                         | 20                                  |  |
| Visto      |                       |              |                         |                                     |  |
| Escalas    | Suporte do servomotor |              |                         |                                     |  |
| 1 : 2      |                       |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |                       |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |                       |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |                       |              |                         | Sustitui o des. nº                  |  |
|            |                       |              |                         | Substituído por:                    |  |





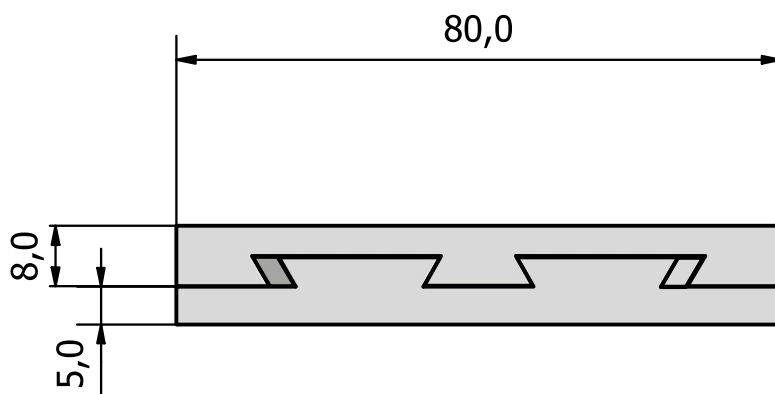
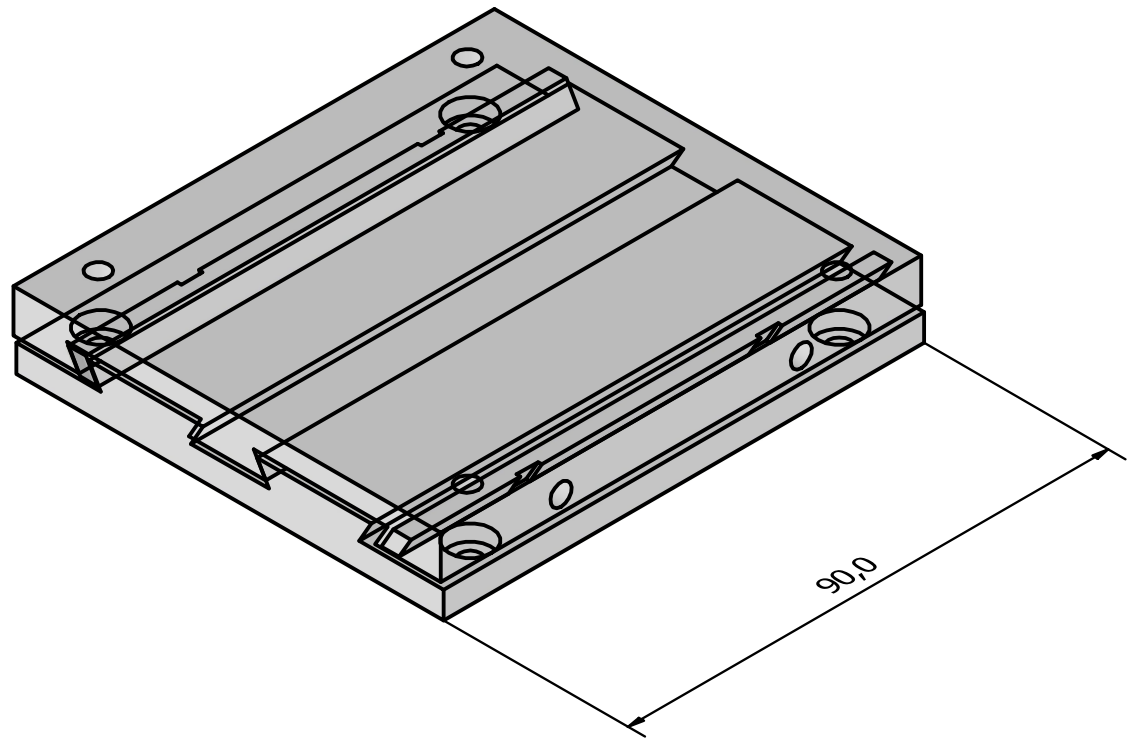
|            |  |              |                         |                                     |  |
|------------|--|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021   | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |  |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |  |              |                         | 22                                  |  |
| Visto      |  |              |                         |                                     |  |
| Escalas    | Adaptador para guiamento do fio da lente da câmara |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |  |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |  |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |  |              |                         | Sustitui o des. nº                  |  |
|            |  |              |                         | Substituído por:                    |  |





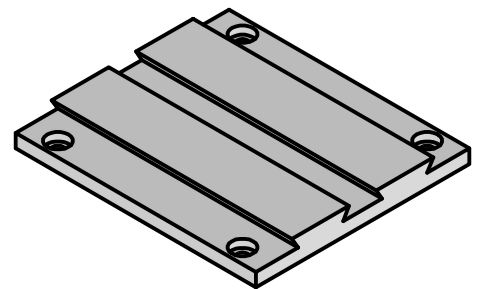
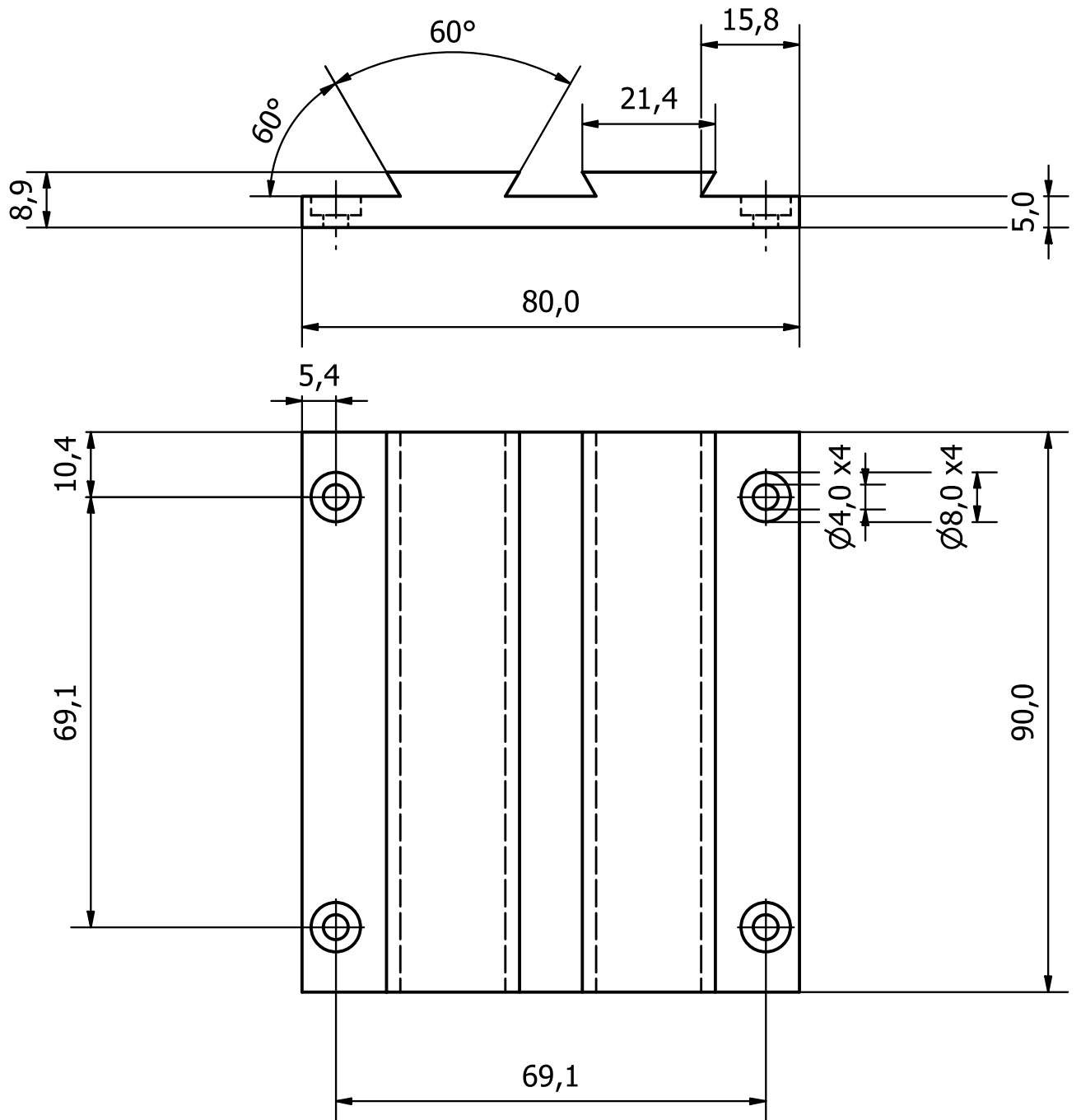


|            |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|---|--------------|-------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Desenha.   | 21/12/2021                                      | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Copiado    |   |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Verific.   |   |              |                         | 26  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Visto      |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Escalas    | Estrutura de posicionamento e suporte da câmara |              |                         | <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|            |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 : 3      |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 : 5      |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Toleran.   |   |              |                         | Sustitui o des. nº  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ISO 2768-m |   |              |                         | Substituído por:  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

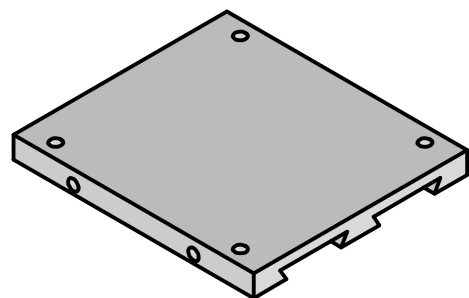
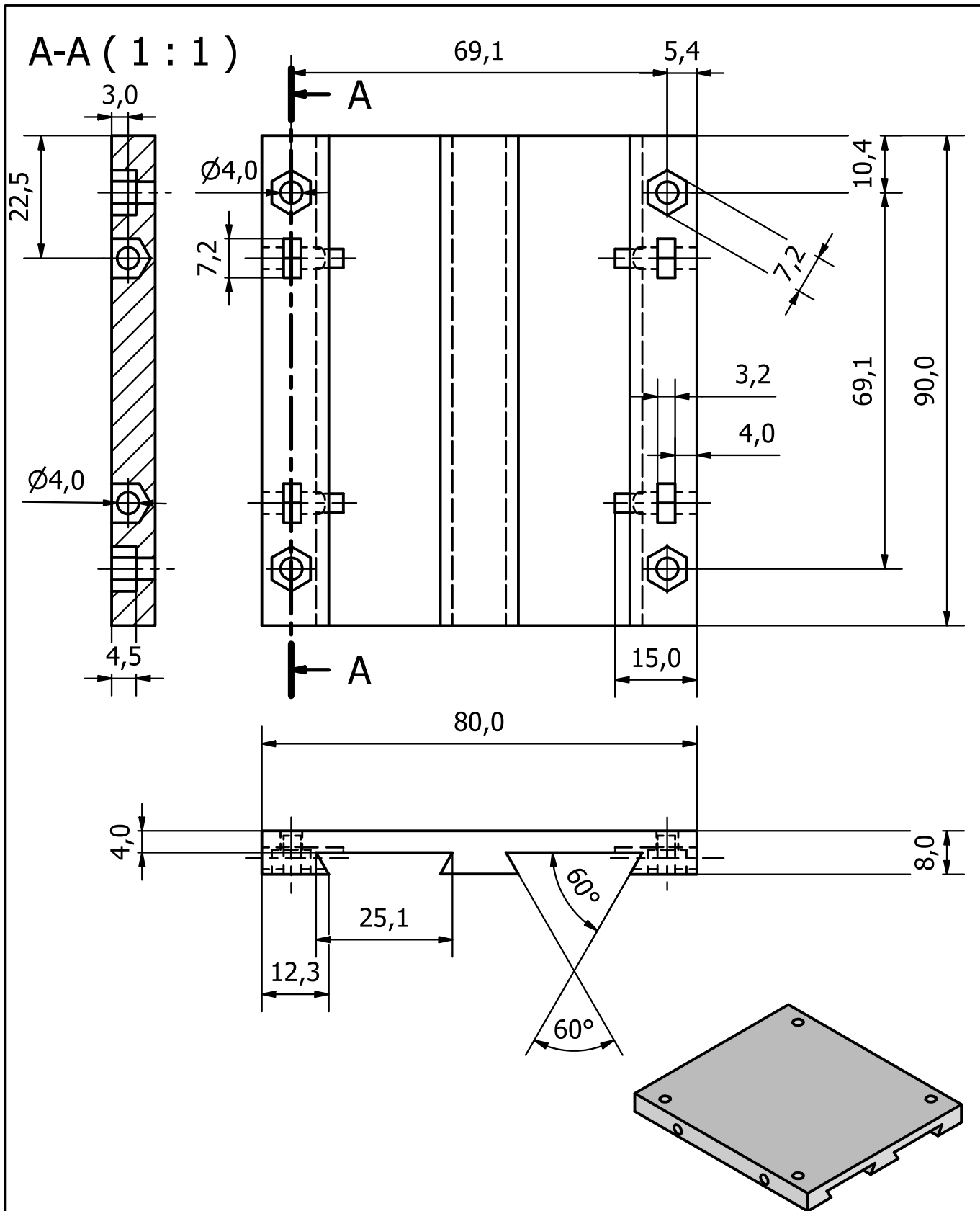




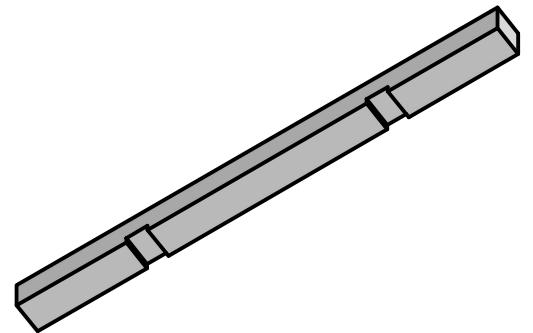
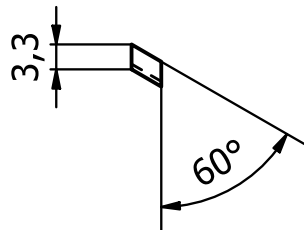
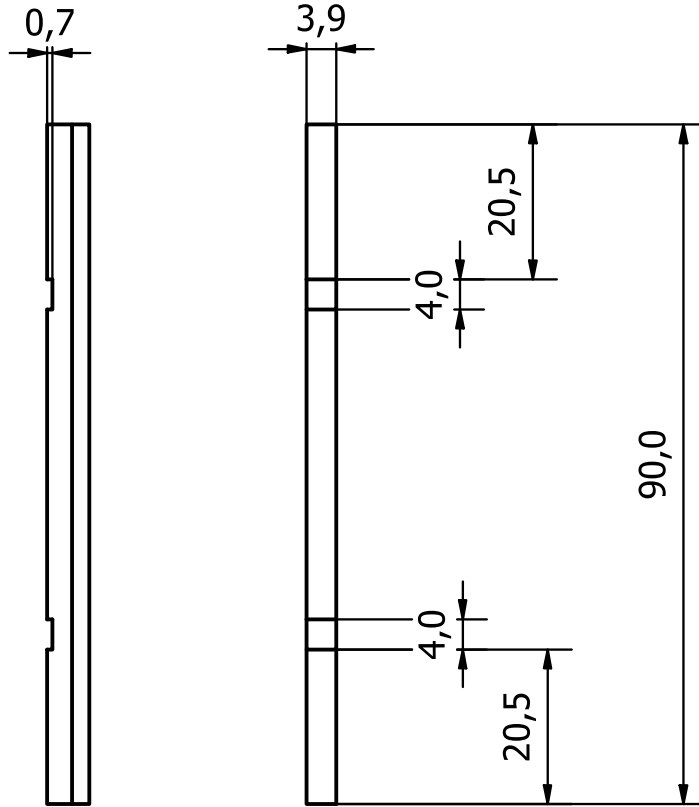
|            |   |              |                         |                                     |  |
|------------|---|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021  | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |   |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |   |              |                         | 27                                  |  |
| Visto      |   |              |                         | 28                                  |  |
| Escalas    | Base deslizante do servomotor<br>e<br>Base deslizante do alimentador positivo   |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |   |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |   |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |   |              |                         | Substitui o des. nº                 |  |
|            |   |              |                         | Substituído por:                    |  |





|            |   |              |                         |                                     |  |
|------------|---|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021  | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |   |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |   |              |                         | 27-1                                |  |
| Visto      |   |              |                         | 28-1                                |  |
| Escalas    | Base deslizante do servomotor (baixo)<br>e<br>Base deslizante do alimentador positivo (baixo) |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |   |              |                         |                                     |  |
| 1 : 2      |   |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |   |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |   |              |                         | Substitui o des. nº                 |  |
|            |   |              |                         | Substituído por:                    |  |

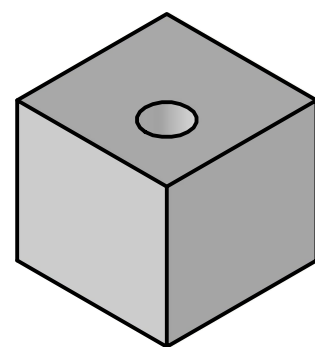
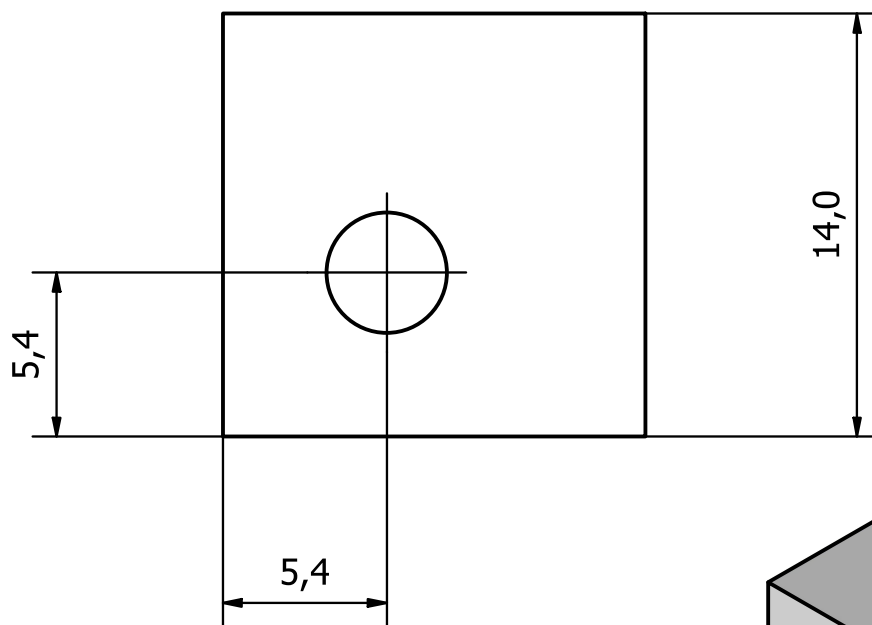
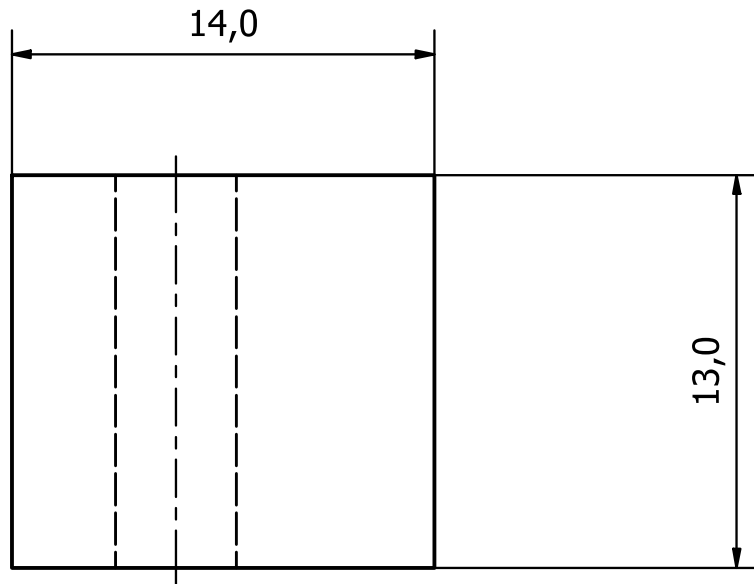




|            |   |              |                         |                                     |                    |  |  |  |
|------------|---|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------|--|--|--|
| Desenha.   | 21/12/2021  | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |                    |  |  |  |
| Copiado    |   |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |                    |  |  |  |
| Verific.   |   |              |                         | 27-2                                |                    |  |  |  |
| Visto      |   |              |                         | 28-2                                |                    |  |  |  |
| Escalas    | Base deslizante do servomotor (cima)<br>e<br>Base deslizante do alimentador positivo (cima) |              |                         |                                     |                    |  |  |  |
| 1 : 1      |   |              |                         |                                     |                    |  |  |  |
| 1 : 2      |   |              |                         |                                     |                    |  |  |  |
| Toleran.   |   |              |                         |                                     |                    |  |  |  |
| ISO 2768-m |   |              |                         |                                     | Sustitui o des. nº |  |  |  |
|            |   |              |                         |                                     | Substituído por:   |  |  |  |

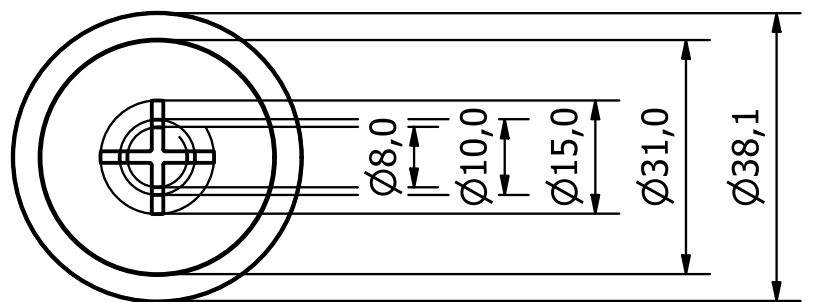
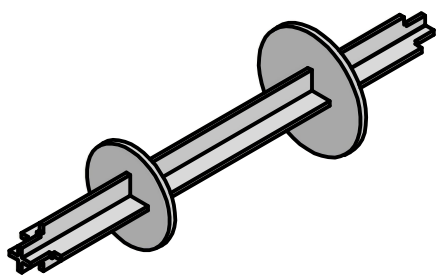
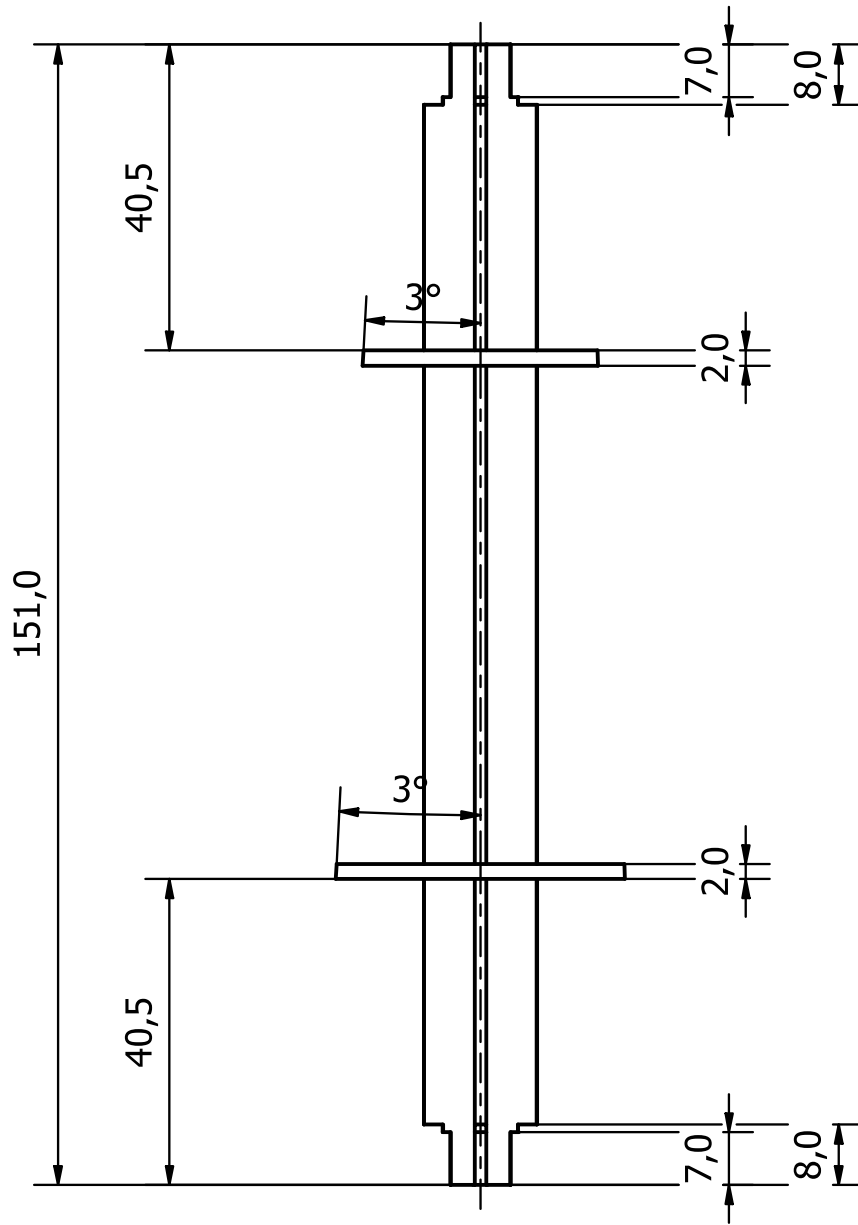


|          |            |              |                         |   |  |  |  |  |
|----------|------------|--------------|-------------------------|---|--|--|--|--|
| Desenha. | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho   |  |  |  |  |
| Copiado  |            |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica   |  |  |  |  |
| Verific. |            |              |                         | 27-3  |  |  |  |  |
| Visto    |            |              |                         | 28-3  |  |  |  |  |
| Escalas  | 1 : 1      |              |                         | Base deslizante do servomotor (barra)<br>e<br>Base deslizante do alimentador positivo (barra)   |  |  |  |  |
| Toleran. | ISO 2768-m |              |                         |   |  |  |  |  |
|          |            |              |                         | Substitui o des. nº   |  |  |  |  |
|          |            |              |                         | Substituído por:  |  |  |  |  |

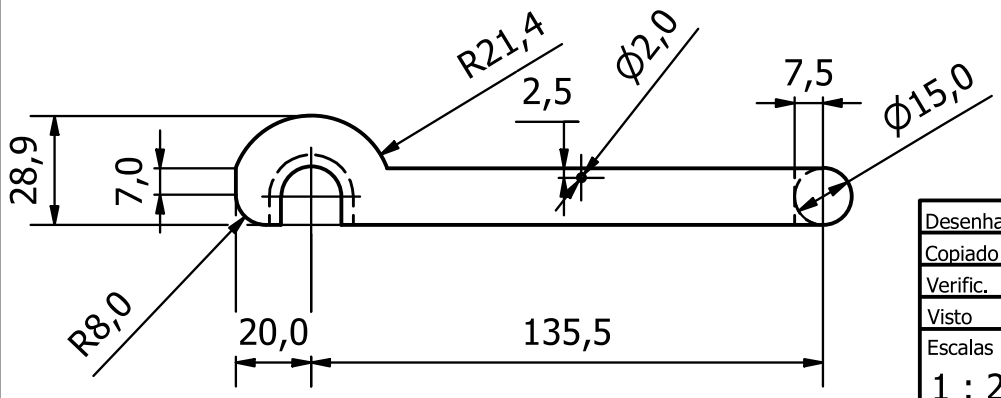
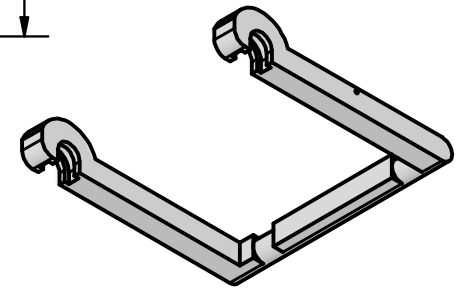
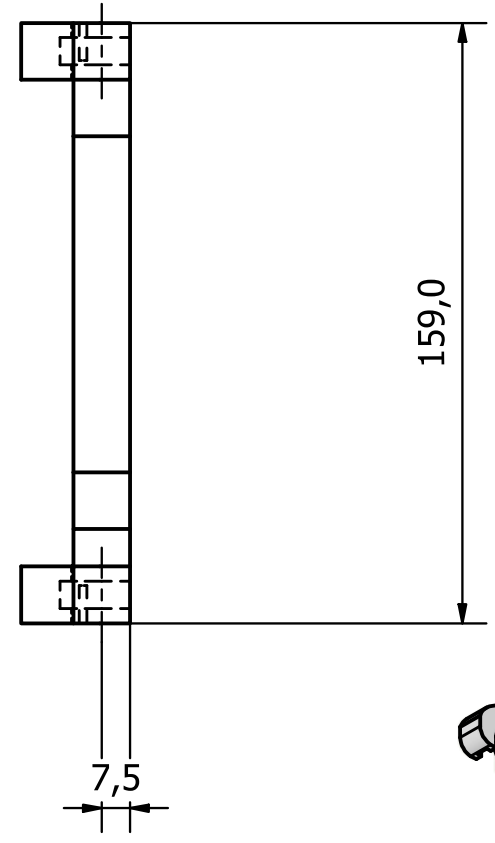
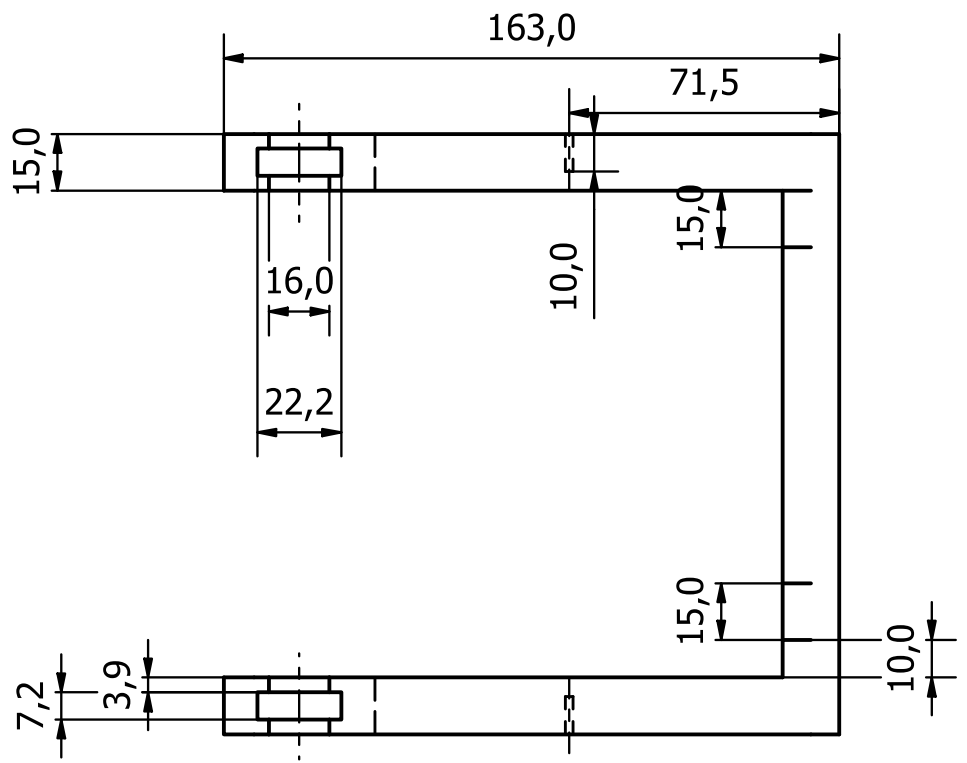




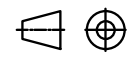
|          |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------|---|--------------|-------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Desenha. | 21/12/2021  | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Copiado  |   |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Verific. |   |              |                         | 31  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Visto    |   |              |                         | <table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|          |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Escalas  | Suporte de ajuste da altura do alimentador positivo 2 |              |                         | Sustitui o des. nº<br>Substituído por:  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 : 1    |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 : 1    |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Toleran. | ISO 2768-m  |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|          |   |              |                         |   |  |  |  |  |  |  |  |  |

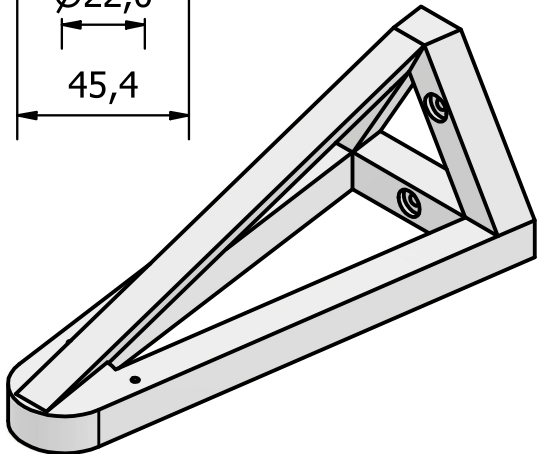
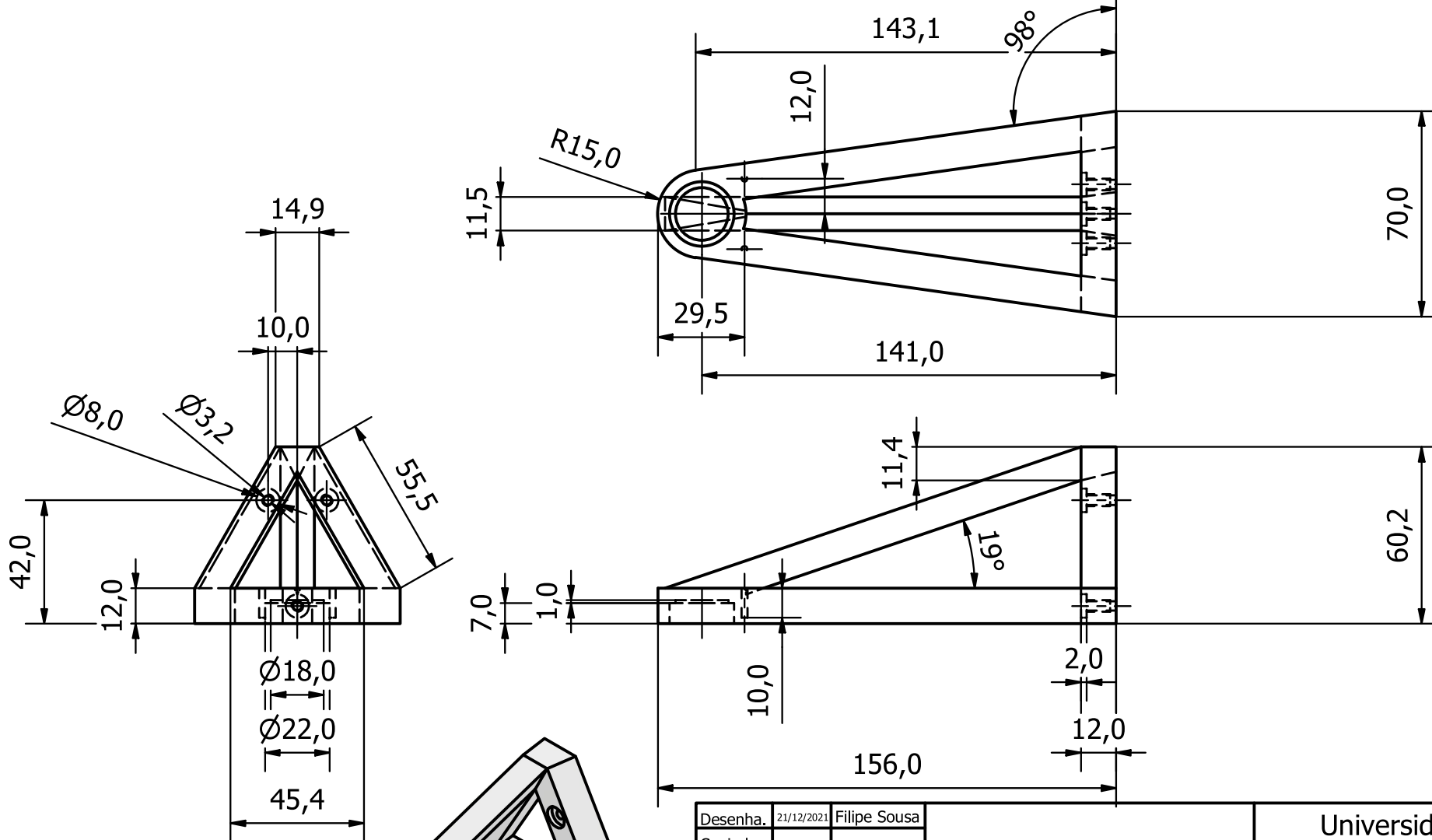


|            |  |              |                         |                                     |  |
|------------|--|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021                                 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |  |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |  |              |                         | 36                                  |  |
| Visto      |  |              |                         |                                     |  |
| Escalas    | Adaptador para bobine a enrolar/desenrolar |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |  |              |                         |                                     |  |
| 1 : 2      |  |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |  |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |  |              |                         | Sustitui o des. nº                  |  |
|            |  |              |                         | Substituído por:                    |  |

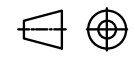


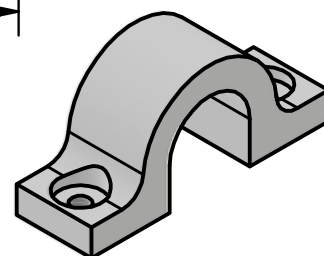
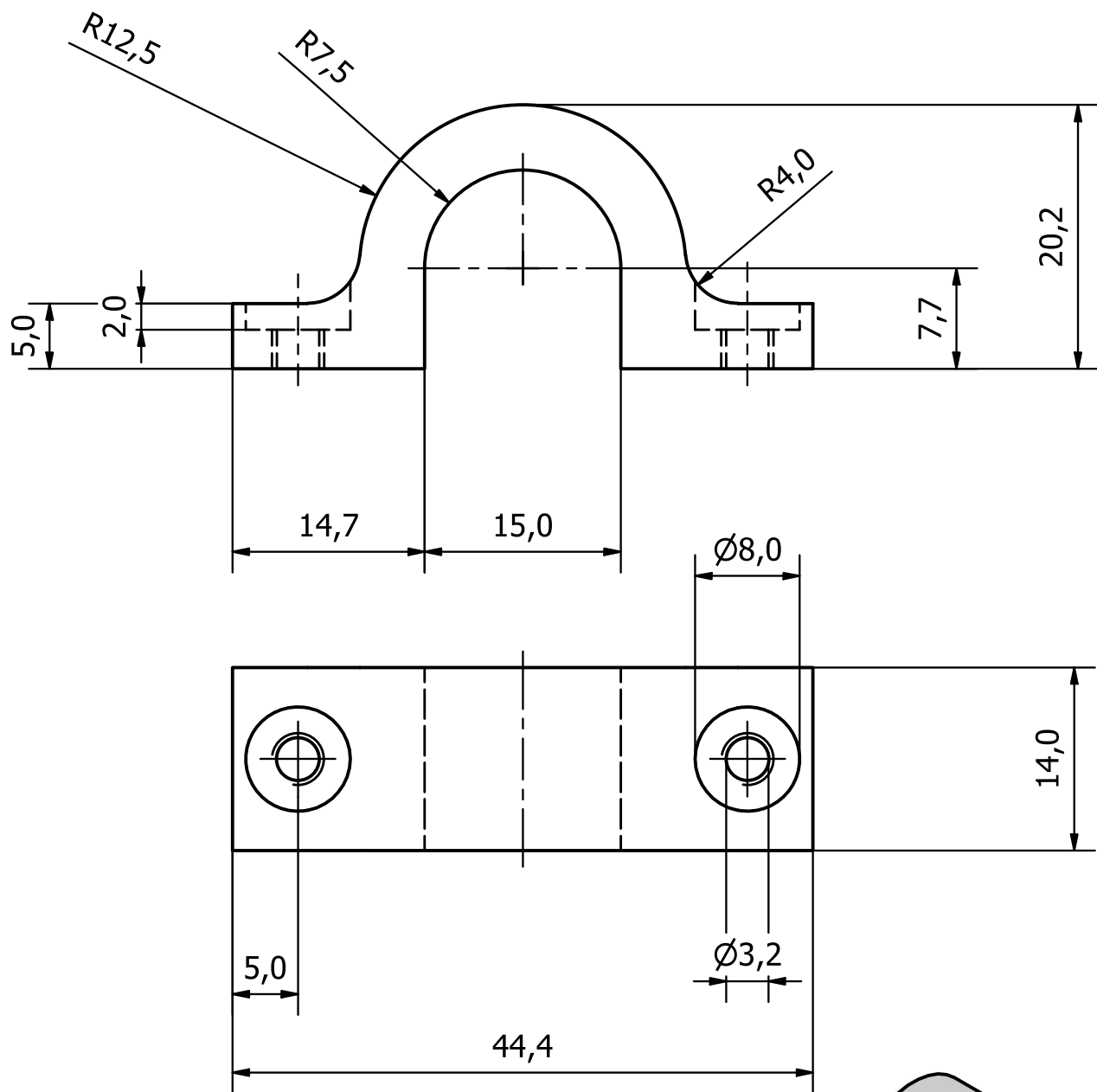
|            |            |              |                                      |                                     |  |  |  |  |  |
|------------|------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Desenha.   | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado              | Universidade Do Minho               |  |  |  |  |  |
| Copiado    |            |              |                                      | Departamento de Engenharia Mecânica |  |  |  |  |  |
| Verific.   |            |              |                                      | 37                                  |  |  |  |  |  |
| Visto      |            |              | Braço de suporte da bobine a enrolar |                                     |  |  |  |  |  |
| Escalas    | 1 : 2      |              |                                      |                                     |  |  |  |  |  |
|            | 1 : 4      |              |                                      |                                     |  |  |  |  |  |
| Toleran.   |            |              |                                      |                                     |  |  |  |  |  |
| ISO 2768-m |            |              |                                      |                                     |  |  |  |  |  |
|            |            |              |                                      | Sustitui o des. nº                  |  |  |  |  |  |
|            |            |              |                                      | Substituído por:                    |  |  |  |  |  |



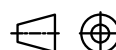


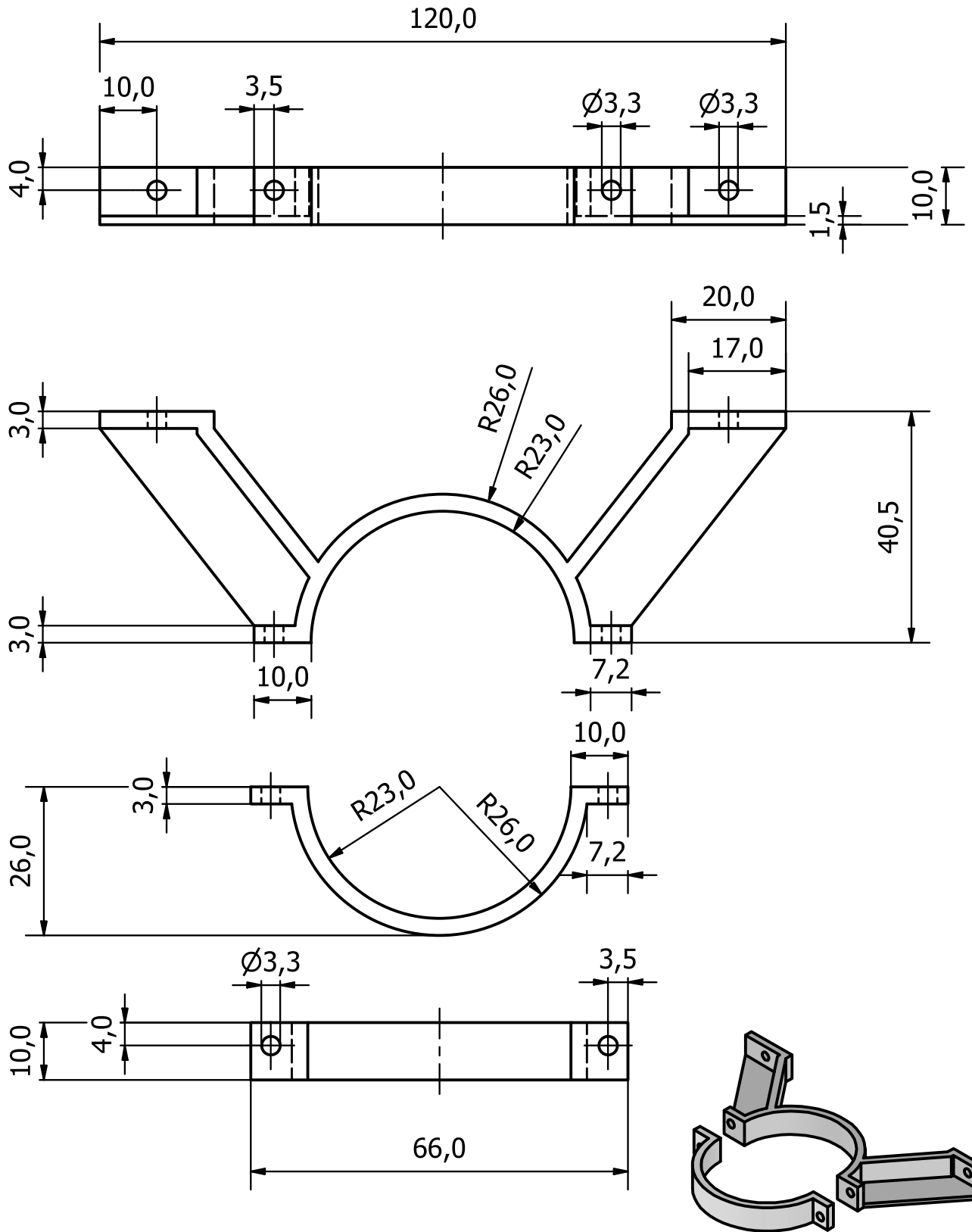
|            |            |              |                         |   |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |
|------------|------------|--------------|-------------------------|---|--|--|--|--|------------------|--|--|--|--|
| Desenha.   | 21/12/2021 | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho                                 |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |
| Copiado    |            |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica                   |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |
| Verific.   |            |              |                         | 38  |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |
| Visto      |            |              |                         | Sustitui o des. nº                                    |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |
| Escalas    | 1 : 2      |              |                         | Braço de suporte do cilindro ranhurado de enrolamento |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |
| Toleran.   |            |              |                         |   |  |  |  |  | Substituído por: |  |  |  |  |
| ISO 2768-m |            |              |                         |   |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |



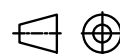


|            |  |              |                         |                                     |  |
|------------|--|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021                                       | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |  |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |  |              |                         | 44                                  |  |
| Visto      |  |              |                         |                                     |  |
| Escalas    | Suportes do braço de suporte da bobine a enrolar |              |                         |                                     |  |
| 2 : 1      |  |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |  |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |  |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |  |              |                         | Substitui o des. nº                 |  |
|            |  |              |                         | Substituído por:                    |  |





|            |                           |              |                         |                                     |  |
|------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Desenha.   | 21/12/2021                | Filipe Sousa | Dissertação de Mestrado | Universidade Do Minho               |  |
| Copiado    |                           |              |                         | Departamento de Engenharia Mecânica |  |
| Verific.   |                           |              |                         | 47                                  |  |
| Visto      |                           |              |                         |                                     |  |
| Escalas    | Braço de suporte da lente |              |                         |                                     |  |
| 1 : 1      |                           |              |                         |                                     |  |
| 1 : 2      |                           |              |                         |                                     |  |
| Toleran.   |                           |              |                         |                                     |  |
| ISO 2768-m |                           |              |                         | Substitui o des. nº                 |  |
|            |                           |              | Substituído por:        |                                     |  |



## APÊNDICE D – CUSTO ESTIMADO DO PROTÓTIPO

*Tabela D.1 - Custo estimado dos diversos componentes do protótipo e soma total*

| <b>Componente</b>              | <b>Custo (€)</b> |
|--------------------------------|------------------|
| Caixa do protótipo             | 150              |
| Estrutura de suporte da câmara | 30               |
| Servomotor                     | 682              |
| 2 PYF                          | 80               |
| Diversas peças em impressão 3D | 30               |
| Correias                       | 32               |
| Guias cerâmicas                | 2                |
| Cilindro ranhurado             | 8                |
| Diversos parafusos e porcas    | 8                |
| Rolamentos                     | 3                |
| Molas                          | 3                |
| <b>Total</b>                   | <b>1028</b>      |