

Projeto de máquina para maquinagem de tubos em fibra de vidro obtidos por enrolamento filamentar

António Eduardo Cruz Izeda

Relatório Final de Estágio apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG)
Instituto Politécnico de Bragança

Para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Industrial (Ramo Engenharia Mecânica)

Orientadores

Prof. Doutor João Eduardo Pinto Castro Ribeiro
Engenheiro Rui Manuel Fazenda Silva

Dezembro 2015

Projeto de máquina para maquinagem de tubos em fibra de vidro obtidos por enrolamento filamentar

António Eduardo Cruz Izeda

Relatório Final de Estágio apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG)
Instituto Politécnico de Bragança

Para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Industrial (Ramo Engenharia Mecânica)

Orientadores

Prof. Doutor João Eduardo Pinto Castro Ribeiro
Engenheiro Rui Manuel Fazenda Silva

Dezembro 2015

Prefácio

Com a realização deste estágio na empresa Gislotica, empresa que fabrica sistemas mecânicos, pretende-se a consolidação de vários conhecimentos e experiência adquiridos ao longo de vários anos de estudo, como não poderia deixar de ser este estágio será também para adquirir mais conhecimentos a nível da área de projeto de máquinas.

Para além do conhecimento propriamente dito também será uma forma de ter uma noção mais real do mundo laboral.

Os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos de estudo vão ser postos em prática no projeto de uma máquina para maquinagem de tubos em fibra de vidro, obtidos por enrolamento filamentar, requerida pela empresa Vidropol, empresa dedicada ao fabrico estratificados em fibra de vidro.

Resumo

Nas últimas décadas tem-se verificado uma utilização crescente de materiais compósitos em diversas áreas. Este facto tem obrigado a indústria a evoluir no sentido de desenvolver equipamentos mais adequados à fabricação destes produtos. Os produtos em material compósito, fabricados com as técnicas convencionais, como enrolamento filamentar ou pultrusão, muitas vezes necessitam de operações de acabamento recorrendo a processos de maquinagem. Estes processos foram desenvolvidos para serem aplicados a materiais metálicos, pelo que, há a necessidade de uma evolução na sua aplicação a materiais compósitos, nomeadamente, na alteração de alguns equipamentos, parâmetros e materiais para ferramentas.

Durante este estágio, foi elaborado o projeto para a reformulação de uma máquina ferramenta que era utilizada em processos de maquinagem de tubos em fibra de vidro, na empresa Vidropol. Esta reformulação foi requisitada à Gislotica, empresa dedicada ao projeto, fabrico e automação de sistemas mecânicos, que se encarregou do projeto da mesma. Após esta requisição, junto da Vidropol, estudou-se a máquina existente com o objetivo de compreender o seu funcionamento e as suas limitações. Resumidamente, a máquina tem a capacidade de maquinar as duas extremidades dos tubos, com a versatilidade de poder adaptar-se a diferentes diâmetros e comprimentos. Concluída a análise da máquina existente, a Vidropol indicou todas os requisitos pretendidos para a nova máquina, estando entre eles a adição de um novo processo de retificação.

Já com todas as informações recolhidas, desenvolveu-se o projeto da nova máquina ferramenta que, devido às suas características de maquinagem, foi designada por retificadora. O projeto iniciou-se com a criação de alguns esboços para possíveis soluções, que garantam os requisitos da Vidropol. Todos os esboços são analisados e discutidos, até se chegar a um consenso. Após esta fase, fez-se uma pesquisa para encontrar soluções no mercado que pudessem ser mais-valias para a nova retificadora. Após escolha dessas soluções, iniciou-se o desenho tridimensional da nova máquina. Depois de executados os modelos tridimensionais, foi necessário preparar os desenhos para o fabrico das peças e montagem final da máquina. Para isso, fizeram-se os desenhos de definição das peças com os toleranciamentos dimensionais e geométricos adequados

a cada componente e os desenhos de conjunto onde é apresentada a montagem de todos os componentes.

No final deste trabalho pode concluir-se que, a análise da máquina existente foi muito importante para a sua reformulação, permitindo evitar os erros que existiam e acrescentar algumas melhorias.

Abstract

In recent decades there has been an increasing use of composite materials in several areas. This fact, has forced the industry to evolve towards developing better suited equipment to the manufacture of these products. The products made of composite material, manufactured using conventional techniques, such as pultrusion or filament winding, often require finishing operations using machining processes. These processes are designed to be applied to metallic materials, so there is the need for an evolution in its application to composite materials in particular by the amendment of some equipment, parameters and materials for tools.

The project for the reformulation of a machine tool, that was used in machining processes in glass fiber pipes made by the Vidropol company, was designed during this internship. This reformulation was required to Gislotica, company dedicated to the design, manufacturing and automation of mechanical systems, which undertook the project. After this request, together with the Vidropol company, the existing machine was studied in order to understand its functioning and its limitations. Briefly, the machine has the capacity to machine the two ends of the tubes with the versatility to adapt to different diameters and lengths. After the completion of the analysis of the existing machine, the Vidropol company, indicated all the desired requirements for the new machine, standing among them the addition of a new rectification process.

After all information were collected, the project of the new machine tool was developed which, due to its machining characteristics, was called rectifier. The project began with the creation of some sketches for possible solutions that ensure the Vidropol company requirements. All sketches are analysed and discussed, until a consensus is reached. After this phase, began a search to find solutions on the market that could be added value for the new rectifier. After choosing the solutions, began the three-dimensional design of the new machine. After running the three-dimensional models, it was necessary to prepare the drawings for the manufacture of parts and final assembly of the machine. To this end, there have been made the definition drawings of the parts with the appropriate dimensional and geometrical tolerances for each component and the drawing sets where the mounting of all components is shown.

At the end of this work it can be concluded that the analysis and study of the existing machine was very important for its reformulation, allowing so to avoid the mistakes that existed and to add some improvements.

Agradecimentos

Começo por agradecer ao orientador deste estágio, o Prof. Dr. João Eduardo Ribeiro, pela sugestão deste excelente estágio, pelo acompanhamento e ajuda no decorrer deste, sendo essa ajuda imprescindível para obtenção dos objetivos pretendidos.

Quero também agradecer ao Eng. Rui Fazenda, CEO da Gislotica, por todos os conhecimentos transmitidos, toda ajuda e acompanhamento prestado ao longo do desenvolvimento de todo o projeto de estágio.

Gostaria também de agradecer ao Eng. Pedro Nunes, diretor da Vidropol, requerente deste projeto e Coorientador, também pela disponibilidade e ajuda prestada, quando requisitada.

Como não poderia deixar de ser, quero também agradecer aos meus pais pelo apoio incondicional ao longo de todo este estágio.

Índice

1	Introdução	21
1.1	Enquadramento e motivações do trabalho	21
1.2	Gislótica e Vidropol	22
1.2.1	Gislótica.....	22
1.2.2	Vidropol.....	23
1.3	Objetivos	23
1.4	Estrutura do trabalho	24
2	Fundamentos teóricos.....	25
2.1	Processo de enrolamento filamentar	25
2.2	Projeto de órgãos de máquinas.....	27
2.2.1	Introdução ao projeto.....	28
2.2.2	Elementos de ligação	29
2.2.2.1	Parafusos de movimento	31
2.2.3	Ligações soldadas	31
2.2.3.1	Tipos de juntas	32
2.2.4	Chumaceiras de rolamento	33
2.2.4.1	Tipos de rolamentos.....	34
2.2.4.1.1	Rolamentos de esferas	35
2.2.4.2	Rolamentos de rolos.....	36
2.2.4.3	Montagem	38
2.2.4.3.1	Rolamentos com furo cilíndrico	38
2.2.4.3.2	Rolamentos de furo cónico	41
2.2.5	Transmissões flexíveis.....	42
2.2.5.1	Cálculo de transmissões por correias	43
2.2.5.1.1	Geometria	43

2.2.6	Freios	45
2.2.6.1	Classificação	45
2.2.6.1.1	Quanto ao tipo de atuação	45
2.2.6.1.2	Quanto à geometria.....	46
2.3	Soluções existentes no mercado	47
2.3.1	Unidades de maquinagem.....	47
2.3.2	Guias lineares	47
3	Fases de projeto.....	50
3.1	Análise da máquina existente	50
3.1.1	Funcionamento da máquina existente	53
3.1.2	Problemas na máquina existente.....	54
3.2	Considerações iniciais para a nova máquina.....	55
3.2.1	Requisitos para a nova máquina	55
3.3	Projeto da nova retificadora	56
3.3.1	Soluções dos problemas existentes.....	57
3.3.2	Desenho	57
3.3.2.1	Cabeçote móvel.....	58
3.3.2.1.1	Veio contraponto	59
3.3.2.1.2	Suporte retentor e tampa de traz	59
3.3.2.1.3	Chumaceira.....	60
3.3.2.1.4	Apoio do corte	60
3.3.2.1.5	Chassi suporte da chumaceira.....	61
3.3.2.1.6	Casquilho de alinhamento	61
3.3.2.1.7	Flanges de ligação	62
3.3.2.1.8	Chassi base do cabeçote móvel	63
3.3.2.1.9	Chassi suporte do travão CM	64
3.3.2.1.10	Montagem final do cabeçote móvel.....	65
3.3.2.2	Cabeçote fixo	66
3.3.2.2.1	Veio base	67
3.3.2.2.2	Parafuso de movimento	67
3.3.2.2.3	Porca de força	68
3.3.2.2.4	Ligação entre a base da garra, o veio base e o disco de travão	68

3.3.2.2.5	Contra porca de força	69
3.3.2.2.6	Base da garra	69
3.3.2.2.7	Chassi base dedos	70
3.3.2.2.8	Barra suporte do dedo.....	70
3.3.2.2.9	Suporte dedo	71
3.3.2.2.10	Fixação dedo.....	71
3.3.2.2.11	Casquilho	72
3.3.2.2.12	Dedos de fixação	72
3.3.2.2.13	Pernos	73
3.3.2.2.14	Centro de garra	74
3.3.2.2.15	Chassi suporte travão.....	74
3.3.2.2.16	Proteção do travão	75
3.3.2.2.17	Proteção das correias anterior e posterior.....	75
3.3.2.2.18	Proteção das correias superior e lateral	76
3.3.2.2.19	Chapa da base do motor.....	76
3.3.2.2.20	Anilha de fixação polia.....	77
3.3.2.2.21	Montagem final do cabeçote fixo	77
3.3.2.3	Preguiça	79
3.3.2.3.1	Calha base, calha superior e calha suporte	79
3.3.2.3.2	Barras suporte	80
3.3.2.3.3	Parafuso de movimento	80
3.3.2.3.4	Veios.....	81
3.3.2.3.5	Casquilhos	82
3.3.2.3.6	Suporte para roletes	82
3.3.2.3.7	Roletes	83
3.3.2.3.8	Montagem final preguiça.....	83
3.3.2.4	Carril	84
3.3.2.4.1	Base do carro para cabeçote móvel, cabeçote fixo e preguiça	85
3.3.2.4.2	Apoio patim	85
3.3.2.4.3	Bloqueio do cabeçote fixo parte inferior e superior	86
3.3.2.4.4	Calha suporte das guias articuladas	86
3.3.2.4.5	Apoio das calhas articuladas.....	87
3.3.2.4.6	Montagem final carril	87
3.3.2.5	Montagem final da retificadora de tubos em fibra de vidro.....	88

3.4	Funcionamento da nova máquina.....	89
3.4.1	Cabeçotes.....	89
3.4.2	Preguiça	91
3.4.3	Carril.....	92
3.4.4	Processo de maquinagem de um tudo na nova máquina	92
4	Conclusão e trabalhos futuros	95
4.1	Conclusão.....	95
4.2	Trabalhos futuros	96
5	Bibliografia	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tipos de rolamentos [3].....	35
Tabela 2 - Sistema de frenagem correntes [3].	46
Tabela 3 - Classificação de freios quanto à geometria [3].	46
Tabela 4 - Diâmetros abrangidos por cada um dos três conjuntos de dedos.	73
Tabela 5 - Dimensões dos veios utilizados na bucha de fixação.....	73
Tabela 6 - Dimensões dos veios utilizados na preguiça.	81
Tabela 7 - Dimensões dos casquilhos utilizados na preguiça.....	82

Lista de Figuras

Figura 1 - Representação esquemática de enrolamento filamentar contínuo [5].	26
Figura 2. Junção de flanges: a) Com parafuso passante, b) Com parafuso prisioneiro. c) Simplesmente com parafuso. d) Com parafuso elástico passante e tubo distanciador. e) Com parafuso de dupla porca [3].	30
Figura 3. Porcas: a) Sextavada. b) Quadrada. c) Cilíndrica facetada. d) Com furos cruzados. e) Ranhurada [3].	30
Figura 4. Dispositivos de segurança: a) Porca em castelo com golpilha. b) Auto-retenção elástica com anel de fibra. c) Anilha de pressão. d) Anilha de dentes travados. e) Anilha de travamento. f) Porcas de atrito cônico [3].	30
Figura 5. Roscas de parafusos de movimento[3].	31
Figura 6 - Tipos de juntas: a) Topo a topo transversal. b) Topo a topo longitudinal continua. c) Junta de ângulo com preparação em K, transferência de carga e penetração parcial. d) Junta de ângulo com transferência de carga e sem penetração. e) Junta de ângulo sem transferência de carga. f) Junta de ângulo com preparação em K, transferência de carga e penetração total. g) Junta longitudinal sem transferência de carga. h) Junta longitudinal com transferência de carga [3].	33
Figura 7 - Nomenclatura rolamento de esferas [3].	34
Figura 8 - Nomenclatura rolamento de rolos cônicos [3].	34
Figura 9 - Rolamento de uma carreira de esferas [3].	36
Figura 10 - Rolamento axial de esferas com escora simples e anéis da base plana [3]-	36
Figura 11 - Rolamento de rolos cônicos [3].	37
Figura 12 - Posicionamento de dois rolamentos de rolos cônicos em "X" [3].	38
Figura 13 - Interposição de um disco para montagem simultânea dos dois anéis do rolamento [3].	39
Figura 14 - Montagem comum de rolamentos de furo cilíndrico [3].	40
Figura 15 - Método alternativo de montagem de rolamentos [3].	40

Figura 16 - Pares de rolamentos de rolos cónicos: a) Montagem em "X". b) Montagem em "O". c) Montagem em tandem [3].	41
Figura 17 - Tipos de correias para transmissão de potência: a) Plana. b) Trapezoidal. c) Dentada. d) Trapezoidal múltipla. e) Trapezoidal de maior flexibilidade. f) Trapezoidal ultralarga [3].	43
Figura 18 - Geometria de uma transmissão por correia aberta [3].	44
Figura 19 - Geometria de uma transmissão por correia cruzada [3].	44
Figura 20 - Unidade de maquinaria [6].	47
Figura 21 - Guia linear [7].	48
Figura 22 - Guia linear com acionamento do carro por parafuso sem fim [8].	48
Figura 23 - Conjugações de guias lineares, a) conjugação com dois graus de liberdade. b) conjugação com três graus de liberdade. c) outra opção de conjugação com três graus de liberdade [9].	48
Figura 24 - Corte transversal do perfil do tubo de 600mm de diâmetro;	50
Figura 25 - Vista total lateral da máquina existente na Vidropol, com destaque para os movimentos possíveis das diferentes partes da máquina e os principais componentes, a) Cabeçote fixo, b) Cabeçote móvel, c) Carril, d) Preguiças.	52
Figura 26 - Vista total de topo da máquina existente na Vidropol, com destaque para os movimentos possíveis das diferentes partes da máquina, a) Ferramenta de corte, b) Sistema de ajuste posicionamento de corte, c) Preguiças, d) Bucha de fixação interior, e) Sistema de posicionamento da ferramenta de maquinaria (corte e retificação).	53
Figura 27 – Detalhe da cavidade que será aberto pela retificação interior do abocardado.	56
Figura 28 - Representação da ferramenta de maquinaria, utilizada no cabeçote fixo.	56
Figura 29 - Esboço da nova retificadora, e detalhe do perfil final do tubo retificado.	56
Figura 30 - Código para dar nome às peças.	58
Figura 31 - Perspetiva isométrica “Veio contra ponto CM M1 VF”	59
Figura 32 - Perspetiva isométrica “Tampa de traz chumaceira CM VF”	60
Figura 33 - Perspetiva isométrica “Suporte retentor 85mm chumaceira CM VF”	60

Figura 34 - Perspetiva isométrica “Chumaceira CM VF”.....	60
Figura 35 - Perspetiva isométrica “Apoio corte CM M1 VF”.....	61
Figura 36 - Perspetiva isométrica “Chassi suporte chumaceira CM M2 VF”.....	61
Figura 37 - Perspetiva isométrica "Casquilho guia VF".....	62
Figura 38 – Perspetiva dimétrica do sistema de movimentação da mó interior, principal destaque para as peças que unem as guias lineares entre si.....	62
Figura 39 - Detalhes da fixação e alinhamento entre o carro da Festo as duas flanges diferentes e a guia linear Somex.....	63
Figura 40 - Perspetiva isométrica “Chapa_carro_festo_CM_M3_VF”.	63
Figura 41 - Perspetiva isométrica “Base guia Somex UA45CN CM M3 VF”	63
Figura 42 - Perspetiva isométrica “Chassi inferior CM M2 VF”.....	64
Figura 43 - Perspetiva isométrica "Chassi suporte travão CM ".	65
Figura 44 - Perspetiva isométrica explodia “Assembly chumaceira CM”.	65
Figura 45 - Perspetiva isométrica explodia “Assembly final CM”.	66
Figura 46 - Perspetiva isométrica “Assembly final CM”.	66
Figura 47 - Perspetiva isométrica final veio base bucha de fixação interior.....	67
Figura 48 - Perspetiva isométrica "Fuso de força BF VF".	68
Figura 49 - Perspetiva isométrica "Porca de força BF VF".	68
Figura 50 - Perspetiva isométrica "Ligação base garra tubo base disco travão BF VF".69	
Figura 51 - Perspetiva isométrica "Contra porca de força BF VF".	69
Figura 52 - Perspetiva isométrica final base bucha de fixação interna.	70
Figura 53 - Perspetiva isométrica "Chassi base dedos BF M1 VF".	70
Figura 54 - Perspetiva isométrica “Barra suporte dedo BF VF”.	71
Figura 55 - Perspetiva isométrica "Suporte dedo BF M1 VF".	71
Figura 56 - Perspetiva isométrica "Fixação dedo BF VF".	72
Figura 57 - Perspetiva isométrica "Casquilho d20 2.5 BF".	72
Figura 58 - Vista tridimensional "Dedo_fixacao_400-500_BF_M2_VF".	73

Figura 59 - Perspetiva isométrica "Perno_D20_75mm_BF_VF" .	74
Figura 60 - Perspetiva isométrica "Centro garra 1 BF VF" .	74
Figura 61 - Perspetiva isométrica "Centro garra 2 BF VF" .	74
Figura 62 - Perspetiva isométrica "Proteção travão BF" .	75
Figura 63 - Perspetiva isométrica "Proteção travão BF" .	75
Figura 64 – Perspetiva isométrica "Proteção correia frente CF VF" .	76
Figura 65 - Perspetiva isométrica "Proteção correia traz CF VF" .	76
Figura 66 - Perspetiva isométrica " Proteção correia superior CF VF" .	76
Figura 67 - Perspetiva isométrica " Proteção correia lateral CF VF" .	76
Figura 68 - Perspetiva isométrica "Base motor CF M1 VF" .	77
Figura 69 - Perspetiva isométrica " Anilha fixação polia CF VF" .	77
Figura 70 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly dedo BF” .	78
Figura 71 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly final chumaceira BF” .	78
Figura 72 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly proteção correia CF” .	78
Figura 73 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly final CF” .	79
Figura 74 - Perspetiva isométrica “Calha base preguiça VF” .	79
Figura 75 - Perspetiva isométrica “Calha superior preguiça VF” .	79
Figura 76 - Perspetiva isométrica “Calha suporte centro preguiça VF” .	80
Figura 77 - Perspetiva isométrica “Barra suporte direito preguiça VF” .	80
Figura 78 - Perspetiva isométrica “Barra suporte esquerda preguiça VF” .	80
Figura 79 - Perspetiva isométrica "Fuso de força 24mm Preguiça VF" .	81
Figura 80 - Perspetiva isométrica "Perno D40 190mm preguiça VF" .	82
Figura 81 - Perspetiva isométrica “Chassi suporte roletes preguiça M1 VF” .	83

Figura 82 - Perspetiva isométrica "Roleta preguiça VF".	83
Figura 83 - Perspetiva isométrica explodida "Assembly roletes preguiça".	84
Figura 84 - Perspetiva isométrica "Assembly final preguiça".	84
Figura 85 - Perspetiva isométrica "Base carro para CM Carril M2 VF".	85
Figura 86 - Perspetiva isométrica "Base carro para CM Carril M2 VF".	85
Figura 87 - Perspetiva isométrica "Base carro para preguiça carril M2 VF".	85
Figura 88 - Perspetiva isométrica "Apoio patim carril M3 VF".	86
Figura 89 - Perspetiva isométrica "Bloqueio parte inferior do CF carril VF".	86
Figura 90 - Perspetiva isométrica "Bloqueio parte superior do CF carril VF".	86
Figura 91 - Perspetiva isométrica "Calha suporte 45mmx2m Carril VF".	87
Figura 92 - Perspetiva isométrica "Apoio calhas articuladas carril VF".	87
Figura 93 - Perspetiva isométrica "Assembly carro para CM Carril".	88
Figura 94 - Perspetiva isométrica "Assembly carril".	88
Figura 95 - Perspetiva isométrica da fresadora de fibra de vidro.	88
Figura 96 - Indicação das movimentações possíveis do cabeçote móvel.	89
Figura 97 - Indicação das movimentações possíveis do cabeçote fixo.	89
Figura 98 - Indicação das movimentações de abertura da bucha de fixação (posição inicial).	90
Figura 99 - Indicação das movimentações de fecho da bucha de fixação (posição final).	90
Figura 100 - Posição inicial do cabeçote móvel.	91
Figura 101 - Posição inicial cabeçote fixo.	91
Figura 102 - Indicação da movimentação ascendente da preguiça (altura mínima), e movimentos possíveis.	91
Figura 103 - Indicação da movimentação descendente da preguiça (altura máxima), e movimentos possíveis.	91

Figura 104 - Distancia máxima alcançável por cada carro no carril, em relação ao cabeçote móvel. 92

Lista de abreviaturas

CM – Cabeçote móvel

CF – Cabeçote fixo

BF – Bucha de fixação

Capítulo 1

1 Introdução

1.1 Enquadramento e motivações do trabalho

O desenvolvimento tecnológico e industrial do século XX até atualidade tem levado a uma especialização cada vez maior dos processos de fabrico e sua adequação ao processamento de novos materiais tais como os compósitos e polímeros [1]. Esta necessidade obrigou a que algumas indústrias mudassem de paradigma e que se dedicassem ao desenvolvimento de novos projetos de equipamentos e máquinas específicas para o fabrico de determinados componentes. Em Portugal, tal como no resto do mundo, surgiram algumas empresas dedicadas ao projeto, desenvolvimento e fabrico de máquinas e equipamentos para alguns setores específicos. Um exemplo deste tipo de empresas é a Gislotica, dedicada ao projeto, fabrico e automação de sistemas mecânicos para diferentes áreas, tendo, contudo, se especializado no fabrico de máquinas e equipamentos para a indústria de pneus. Apesar de estar muito focalizada neste setor, tem vindo a desenvolver trabalhos noutras áreas distintas, nomeadamente, no fabrico de equipamentos para a área dos materiais compósitos, tendo fabricado máquinas para a pultrusão e enrolamento filamentar, ou na indústria das cortiças, onde desenvolveu equipamentos para fabricar revestimentos de parede em cortiça, entre outros trabalhos.

O trabalho desenvolvido neste projeto enquadra-se na necessidade de melhorar uma máquina para a retificação dos topos de tubos em fibra de vidro para transporte de águas pluviais e esgotos, fabricados na empresa Vidropol. Esses tubos são fabricados por enrolamento filamentar, o seu perfil, tem um alargamento numa das extremidades,

denominado de abocardado, que permite que os tubos do mesmo diâmetro encaixem uns nos outros. Nesta extremidade, existem duas ranhuras internas que são impressas pelo molde utilizado no processo de enrolamento filamentar. Estas ranhuras são necessárias para a colocação de vedantes utilizados para evitar o derramamento de fluidos após a montagem dos tubos.

No decurso do trabalho fez-se uma visita às instalações da Vidropol, onde se encontra a máquina existente, com o objetivo de estudar o seu funcionamento, bem como, avaliar os seus problemas e limitações. Durante a visita, realizou-se uma reunião com os responsáveis da empresa que indicaram as exigências impostas para o projeto da nova máquina.

Após a definição das especificações da máquina a projetar desenvolveu uma pesquisa exaustiva dos equipamentos existentes no mercado que fizessem operações semelhantes às pretendidas. Verificou-se que as máquinas existentes no mercado não se adequam, na sua totalidade, às funções pretendidas revelando a necessidade do desenvolvimento de um equipamento muito dedicado e específico.

1.2 Gislotica e Vidropol

Neste ponto pretende-se fazer uma breve apresentação e descrição das empresas nas quais se desenvolveu o projeto apresentado neste relatório.

1.2.1 Gislotica

Empresa sediada em Matosinhos, dedica-se ao desenvolvimento de soluções mecânicas, especializada no estudo e desenvolvimento de projetos que vão desde a logística (estudos de fluxos) às máquinas especiais.

Todos os projetos desenvolvidos por esta são entregues prontos a serem utilizados, passando antes por diversas vertentes (projeto, fabrico mecânico e automação) para se chegar aos produtos finais, idealizados pelos seus clientes. Em alguns projetos esta trabalha em parceria com outras empresas da especialidade de forma a servir melhor os interesses dos seus clientes.

Tem como missão garantir uma qualidade de produtos e serviços que a identifique junto dos clientes.

1.2.2 Vidropol

Empresa sediada na cidade do Porto, o seu nascimento em 1973, é um marco nacional e internacional de desenvolvimento e inovação de produtos e aplicações de compósitos estruturais reforçados com fibras longas e contínuas.

Dedicada à transformação e aplicação de produtos fabricados em material compósito de matriz termoendurecível com vários tipos de serviços tais como:

- Tubagens (Abastecimento de água, redes de saneamento e indústria química).
- Tanques e reservatórios (Armazenagem de água, produtos químicos e industriais).
- Chapas lisas e onduladas (Coberturas e divisórias).
- Serviços variados (Revestimentos, projetos, montagem e conservação).
- Obras públicas (Obras de Engenharia Civil relacionada com a instalação e montagem de condutas aéreas e enterradas de tubos em plástico reforçado com fibras de vidro).

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consiste no projeto de desenvolvimento de um equipamento para maquinagem de topos de tubos fabricados em compósito de fibra de vidro com resina de poliéster e trabalhará em paralelo, com uma máquina de enrolamento filamentar para a empresa Vidropol. Para alcançar esse objetivo final será necessário alcançar um conjunto de objetivos meias pequenos, nomeadamente:

- Conhecer o equipamento existente. Para esse efeito, fez-se uma análise *in loco* para compreender o seu funcionamento e medir as principais dimensões. Foi também possível aceder-se a antigos desenhos desse equipamento.
- Desenhar e analisar esboços de várias propostas de solução para o novo equipamento. Em cada dessas propostas, foram avaliadas as suas vantagens e limitações.
- Após escolhida uma solução, iniciou-se o desenho e dimensionamento do equipamento escolhido. Durante esse processo, definiu-se e selecionou-se quais os elementos normalizados, nomeadamente, rolamentos, parafusos,

guias lineares, transmissões, entre outros, e os elementos que seriam necessários fabricar.

- Elaborar os desenhos de definição das peças que serão fabricadas.
- Realização dos desenhos de conjunto dos equipamentos intermédios e finais.
- Elaboração de um relatório final onde são descritos detalhadamente as principais fases do projeto.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho tem uma base teórica imprescindível para o projeto mecânico em causa, e também para melhor compreensão de quem o consultar.

Contará também com a descrição pormenorizada do funcionamento da máquina existente na Vidropol e dos respetivos problemas que esta tem, serão também descrito todas as fases de projeto da nova máquina assim como o funcionamento desta quando estiver pronta (o projeto da parte de automação não faz parte deste estágio, essa parte será elaborada pelos trabalhadores da Gislotica).

Por fim serão referidas as conclusões a que se chegou com este projeto e os trabalhos futuros de que este pode servir de base.

Capítulo 2

2 Fundamentos teóricos

Neste capítulo irão apresentar-se, de forma sucinta, alguns fundamentos teóricos essenciais para melhor a compreensão do trabalho desenvolvido neste projeto. Assim, far-se-á uma breve descrição do processo de enrolamento filamental, porque o objetivo principal do trabalho é desenvolver um sistema de maquinagem que trabalhará em paralelo com este equipamento e que permitirá fazer um conjunto de operações em peças produzidas por enrolamento filamental. Na segunda parte deste capítulo, faz-se a apresentação de alguns dos conceitos mais importantes do projeto mecânico, bem como a descrição de alguns elementos mecânicos que foram utilizados no projeto desenvolvido e apresentado neste relatório.

2.1 Processo de enrolamento filamental

O enrolamento filamental é um processo que consiste em depositar sobre um mandril em rotação fibra em forma de roving previamente impregnada com resina, na Figura 1 encontra-se uma representação esquemática do processo de enrolamento filamental. Os termoendurecíveis são as resinas mais utilizadas neste processo, designadamente, o poliéster, as fenólicas, os epóxidos e as poliamidas. Todavia, também podem ser utilizadas resinas termoplásticas, conforme se descreverá adiante. O reforço impregnado em resina e enrolado em várias camadas sobre o mandril em rotação é desenrolado sob condições controladas através de sistemas de guiamento. Durante a fase de enrolamento, as fibras são orientadas em função das solicitações a que a peça estará sujeita em serviço, bastando para tal controlar os movimentos de translação do carro e de rotação do mandril. O uso de uma tensão controlada na fase de enrolamento permite dar

união às fibras e boas características mecânicas às peças obtidas. Após o enrolamento procede-se à polimerização em forno ou através de luzes infravermelhas [2].

O enrolamento filментар também pode ser realizado com resinas termoplásticas. Recorre-se a uma fita termoplástica pré-impregnada que é enrolada enquanto se aplica calor e pressão no ponto de contacto com o mandril para promover a fusão e consolidação do termoplástico. Habitualmente, utilizam-se combinações reforço-matriz à base de carbono/PEEK, carbono/nylon ou carbono/PPS. Relativamente ao enrolamento filментар tradicional, o processo com resinas termoplásticas é mais complexo, embora possua a vantagem de ser um processo mais limpo devido à ausência de emissões de estireno, prejudiciais à saúde [2].

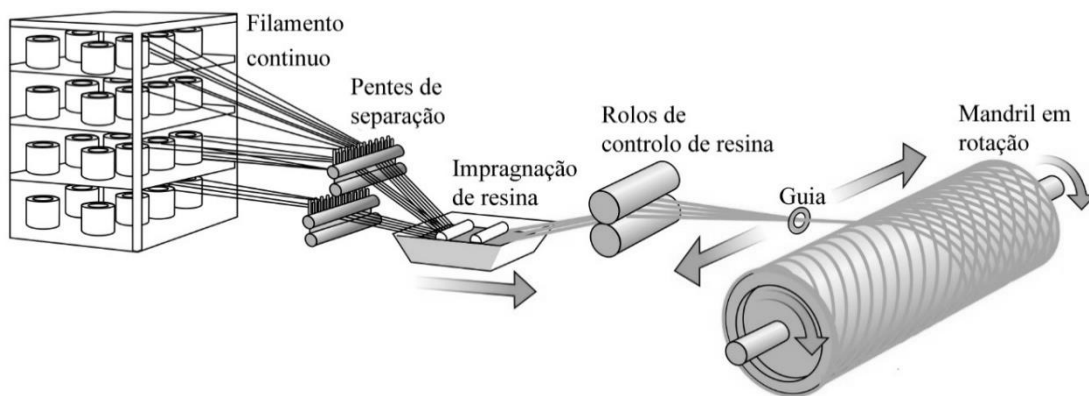


Figura 1 - Representação esquemática de enrolamento filментар contínuo [3].

A partir do enrolamento filментар podem ser produzidas peças como reservatórios de pressão, peças esféricas ou cilíndrico-esféricas, tubos cilíndricos, quadrangulares ou hexagonais, com taxas de reforço de 60 a 75% de fibras em peso [2].

As principais vantagens do método são a sua simplicidade, a fácil automatização de processos, a utilização de um volume de fibras elevado e, como tal, dando origem a peças com boas características mecânicas, devido à possibilidade de orientar os reforço segundo as sollicitação previstas, este processo permite, também, a produção de peças grandes dimensões. As desvantagens mais importantes são as limitações na forma das peças, sobretudo no que toca a concavidades, necessitando de operações de maquinagem ou acabamentos posteriores, requer a presença permanente de um operador qualificado para fazer a mudança de bobines ou verificar deslizamentos de fibras, dificuldade na obtenção de ângulos baixos (0 a 15°), e na orientação das fibras relativamente ao eixo de rotação do mandril [2].

2.2 Projeto de órgãos de máquinas

Projeto mecânico é a designação usada em Engenharia para todas as atividades respeitantes a dimensionamento, verificação e análise da falha de componentes e estruturas de órgãos de máquinas e equipamentos mecânicos [4].

Na área do projeto mecânico não se analisam os aspetos estéticos, ergonómicos, de marketing e outros, que, por se incluírem nas áreas de *design*, *engineering design* ou *design* industrial. O projeto mecânico é uma área do *design* industrial que trata, apenas, do problema das solicitações mecânicas nos órgãos de máquinas em todos os casos em que estes sejam predominantes para o desempenho do componente, e sempre que os outros aspetos (estética, aparência, *marketing*, ergonomia) sejam de importância secundária [4].

Assim, no projeto mecânico apenas se considera o efeito das solicitações mecânicas no componente. A influência do meio-ambiente (corrosão e temperatura) também é considerado, mas apenas em termos dos efeitos que pode ter na resistência e no comportamento do material.

As peças estão sujeitas a solicitações que se dividem em três tipos fundamentais: estáticas, dinâmicas e de choque (as subitamente aplicadas) [4].

As solicitações estáticas ou de "carga morta" são aquelas cuja intensidade não varia ao longo do tempo. O peso próprio é um exemplo de uma solicitação estática que existe em todos os componentes mecânicos, mas que só é considerada se as dimensões do componente implicarem grandes volumes de material. As solicitações puramente estáticas não são habituais em componentes mecânicos [4].

As solicitações dinâmicas são aquelas cuja intensidade varia com o tempo. Este tipo de carga é o mais habitual em órgãos de máquinas [4].

Durante o ciclo de vida da peça podem aparecer solicitações estáticas, dinâmicas e de choque, sendo estas últimas, também, solicitações dinâmicas mas de carácter ocasional, com uma frequência muito elevada de aplicação (intervalo de tempo de alguns milissegundos) e um valor máximo (de pico) de intensidade muito elevada [4].

O projeto mecânico aborda aspetos complementares, como o dimensionamento do componente propriamente dito, a seleção dos materiais e a verificação das cargas e dimensões, recorrendo a um largo conjunto de metodologias [4].

2.2.1 Introdução ao projeto

O dimensionamento dos componentes mecânicos baseia-se no cálculo das tensões e deformações a que ele se encontra sujeito e deve ser realizado utilizando as ferramentas da Mecânica dos Sólidos e da Mecânica Estrutural. Para componentes de formas simples, tais como barras, tubos de parede fina e espessa e placas. As soluções da distribuição de tensões obtêm-se por via analítica, desde que o componente seja liso (sem entalhes nem descontinuidades geométricas). Os métodos numéricos, tais como o método dos elementos finitos, permitem obter as distribuições de tensões e deformações numa grande variedade de componentes mecânicos de forma complexa e sujeitos a carregamentos complexos [4].

Para o dimensionamento e a verificação usam-se, geralmente, as mesmas relações, mas resolvidas e interpretadas de forma diferente. Para um dimensionamento eficiente, é fundamental um diálogo com os potenciais clientes e/ou utilizadores, no sentido de conhecer condições de serviço, vida útil, coeficientes de segurança, materiais, etc [4].

Em componentes específicos, de dimensão normalizadas e utilização muito generalizada, o processo de dimensionamento faz-se utilizando os procedimentos de normas e/ou instituições especializadas. Neste caso incluem-se órgãos tais como [4]:

- Engrenagens.
- Ligações aparafusadas.
- Veios de transmissão de potência.
- Cabos.

Para outros componentes, o processo de dimensionamento e seleção faz-se recorrendo a elementos de cálculo fornecidos pelos fabricantes. Incluem-se neste grupo [4]:

- Uniões de veios.
- Rolamentos.
- Chumaceiras de atrito seco e/ou porosas.
- Elementos flexíveis de transmissão de movimento (correias, correias dentadas e correntes).
- Embraiagens.

Neste último grupo, denominado de “seleção por catálogo”, os materiais estão definidos pelo fabricante. Nos outros casos, torna-se necessário selecionar o material ou materiais mais adequados [4].

2.2.2 Elementos de ligação

Entre os elementos de ligação de peças amovíveis, os parafusos ocupam uma posição de destaque no domínio da construção de equipamentos. A grande variedade, o baixo custo, a facilidade de montagem e de desmontagem fazem destes elementos de ligação os mais usados [4].

Os parafusos podem ter diversas aplicações [4]:

- Como elementos de ligação entre os vários componentes de um conjunto.
- Como órgãos de transmissão de movimento circular em movimentos retilíneos e vice-versa.
- Como elementos de transmissão de forças permitindo a obtenção de forças axiais a partir de pequenas forças tangenciais.

As peças roscadas usam-se sempre aos pares, de cada par fazem parte uma peça macho, que constitui o parafuso propriamente dito e uma peça fêmea vulgarmente designada por "porca". As peças roscadas constituem elementos coaxiais possuidores de superfícies de contacto, os filetes e ranhuras helicoidais, que se interpenetram de modo a que o movimento relativo das peças seja helicoidal, verificando-se assim o escorregamento mútuo dos filetes nas ranhuras da peça oposta. Na construção de máquinas predominam os parafusos com cabeças e porcas sextavadas, que podem ser utilizados sob a forma de parafusos passantes (com cabeça e porca) e parafusos com cabeça não-passantes (sem porca). Em determinadas circunstâncias, utilizam-se os parafusos prisioneiros (sem cabeça) normalmente por imposição de projeto. Para serem embutidos utilizam-se os parafusos de sextavado interno, os de cabeça cilíndrica e os de cabeça escareada com fenda. As Figura 2 e Figura 3, reproduzem alguns dos tipos de parafusos e porcas utilizadas na junção de flanges [4].

No caso de se tratar de um órgão de ligação sujeito a cargas dinâmicas ou a vibrações os parafusos requerem dispositivos de segurança ou de fixação, de forma, a que não ocorra o desaperto durante o funcionamento do equipamento. Para evitar este risco utilizam-se, na maioria das aplicações, dispositivos contra o desaperto, tais como anilhas

ou porcas de roscas especiais. A Figura 4 apresenta os sistemas de segurança vulgarmente utilizados. No caso dos parafusos de transmissão de movimento, pretende-se que tenham o melhor rendimento possível [4].

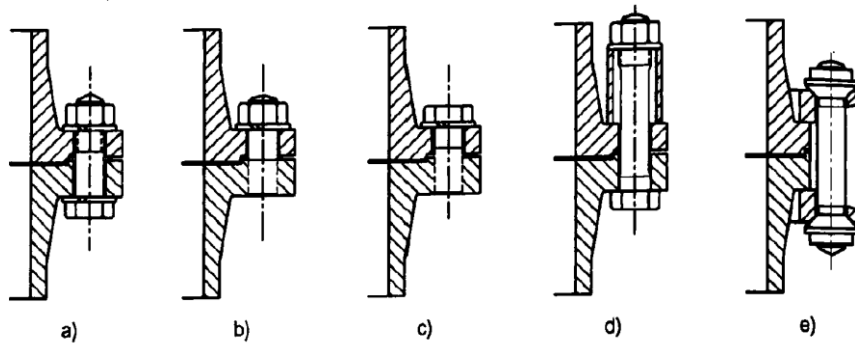


Figura 2. Junção de flanges: a) Com parafuso passante, b) Com parafuso prisioneiro. c) Simplesmente com parafuso. d) Com parafuso elástico passante e tubo distanciador. e) Com parafuso de dupla porca [4].

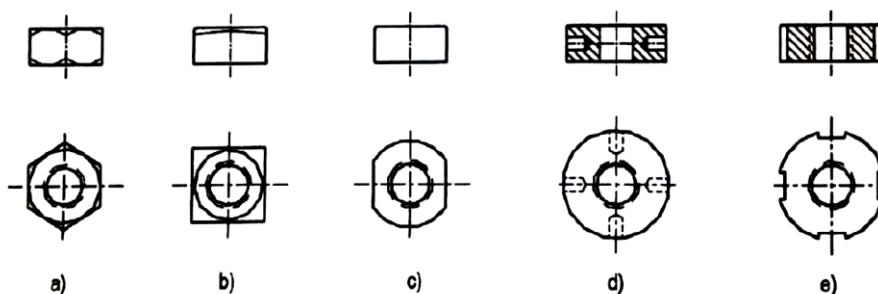


Figura 3. Porcas: a) Sextavada. b) Quadrada. c) Cilíndrica facetada. d) Com furos cruzados. e) Ranhurada [4].

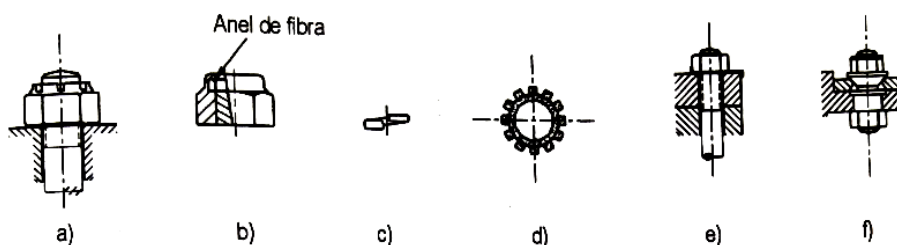


Figura 4. Dispositivos de segurança: a) Porca em castelo com golpilha. b) Auto-retenção elástica com anel de fibra. c) Anilha de pressão. d) Anilha de dentes travados. e) Anilha de travamento. f) Porcas de atrito cónico [4].

2.2.2.1 Parafusos de movimento

Os parafusos de movimento destinam-se a exercer uma força com vantagem mecânica, tais como em macacos de elevação, prensas, grampos e outros equipamentos, pelo que os perfis das roscas utilizadas são diferentes dos das roscas de fixação. As formas mais vulgares estão representadas na Figura 5 [4].

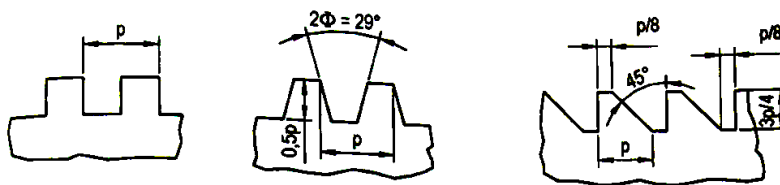


Figura 5. Roscas de parafusos de movimento[4].

A fabricação da rosca quadrada é de custos mais elevados do que a da rosca trapezoidal. Esta, apesar de não ser tão eficiente como a rosca quadrada, devido à inclinação dos filetes, é mais fácil de fabricar, pelo que é a mais utilizada nos parafusos de movimento. A rosca em dente de serra tem a mesma eficiência que a rosca quadrada, mas só permite a transmissão de potência num sentido [4].

2.2.3 Ligações soldadas

Com o desenvolvimento da tecnologia de soldadura e o crescente domínio dos diversos parâmetros que intervêm na qualidade dos cordões e nas suas propriedades mecânicas a construção soldada, por razões de economia, foi substituindo progressivamente as construções rebitadas e aparafusadas [4].

A utilização crescente de ligações soldadas em aplicações de elevada responsabilidade solicitadas quer por cargas estáticas, quer por cargas dinâmicas obriga a que o projetista tenha de proceder a um adequado dimensionamento dos cordões de soldadura, que constituem, muitas vezes, os pontos de ruína preferenciais da estrutura [4].

Apesar de darem uma resposta satisfatória quando sujeitas a condições de serviço mais duras, tanto ao nível das solicitações como ao nível das condições ambientais, as ligações clássicas apresentam, apesar de tudo, uma serie de problemas, entre outros concentrações de tensões provocadas por orifícios, distribuição uniforme de tensões ou corrosão [4].

2.2.3.1 Tipos de juntas

As juntas soldadas tradicionalmente classificam-se em juntas topo a topo e juntas de ângulo [4].

Designa-se por "junta topo a topo" aquela em que os eixos das peças a unir são paralelos ou coincidentes. As juntas podem subdividir-se em longitudinais e transversais, conforme a direção da carga é, respetivamente, paralela ou perpendicular ao eixo do cordão. Os cordões podem ainda ser contínuos ou descontínuos [4].

Uma junta diz-se "de ângulo" se tem cordões que ligam peças colocadas em sobreposição ou que se intercetam. As juntas de ângulo podem subdividir-se em juntas com transferência de carga ou sem transferência de carga, conforme a transferência do esforço entre as peças a unir é ou não feita diretamente através do cordão [4].

A classificação das juntas soldadas pode ser assim feita tendo em conta a posição dos cordões e peças a unir, a direção das cargas em relação ao eixo do cordão, a continuidade do cordão e o modo como a carga é transmitida através do cordão, ou seja, respetivamente em juntas [4]:

Topo a topo:

- Transversais.
- Longitudinais:
 - Contínuas.
 - Descontínuas.

De ângulo:

- Com transferência de carga: longitudinais, transversais ou oblíquas.
- Sem transferência de carga: longitudinais, transversais ou oblíquas.

Na Figura 6 é possível observar os tipos de juntas soldadas mais comuns.

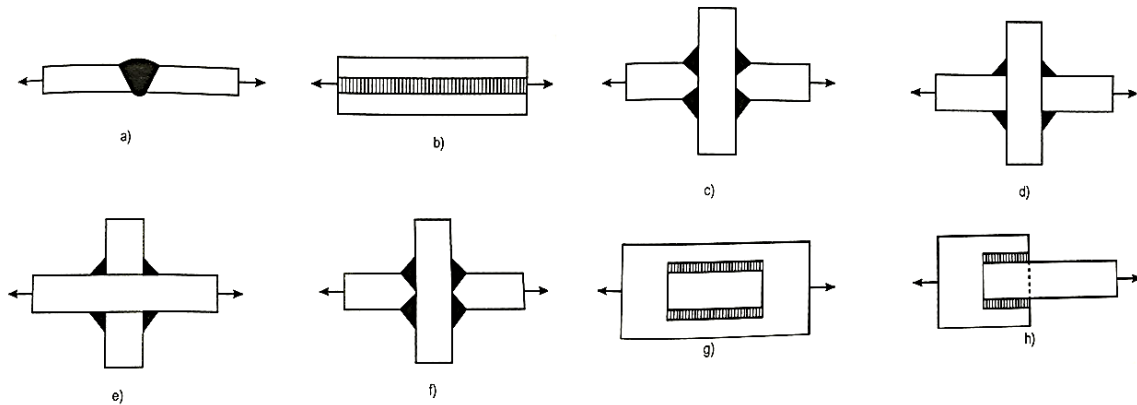


Figura 6 - Tipos de juntas: a) Topo a topo transversal. b) Topo a topo longitudinal continua. c) Junta de ângulo com preparação em K, transferência de carga e penetração parcial. d) Junta de ângulo com transferência de carga e sem penetração. e) Junta de ângulo sem transferência de carga. f) Junta de ângulo com preparação em K, transferência de carga e penetração total. g) Junta longitudinal sem transferência de carga. h) Junta longitudinal com transferência de carga [4].

2.2.4 Chumaceiras de rolamento

A expressão "chumaceiras de rolamento" (por vezes também equivalente a "chumaceiras antifricção") é usado para descrever uma classe de chumaceiras na qual a carga principal é transferida entre os elementos através de contacto por rolamento, em lugar de um contacto por escorregamento. Deste facto resulta que o atrito no início do movimento é pouco superior ao que se verifica em regime de operação, podendo-se dizer que o coeficiente de atrito varia pouco com a carga e a velocidade. Em contraste, nas chumaceiras de escorregamento, o atrito de metal com metal que se observa no arranque faz com que o coeficiente de atrito varie muito com a velocidade de rotação. Pode-se, assim, dizer que uma das principais vantagens das chumaceiras de rolamento relativamente às chumaceiras de escorregamento é o seu baixo atrito na fase de início do movimento, o que as torna particularmente indicadas para aplicações em que se verificam paragens e partidas frequentes sob ação de carga (exemplo: chumaceiras de eixos de carros ferroviários). Comparando as chumaceiras de rolamento com as de escorregamento, pode-se ainda citar as seguintes diferenças [4]:

- Capacidade para suportar esforços axiais e radiais (somente em alguns tipos de rolamentos).
- Ocupação de um menor espaço axial, mas um maior espaço radial, do que as chumaceiras de escorregamento.

- Exigência de pouco lubrificante e pequena manutenção.
- Produção de mais ruído e maior onerosidade (são mais caros e têm uma vida limitada, exceto em condições de funcionamento especiais, devido as elevadas tensões de contacto que se verificam nas suas pistas, de forma repetida, e que tem como consequência uma eventual ruína por fadiga).

As vantagens e desvantagens destes dois tipos de chumaceiras fazem com que cada um deles seja o mais apropriado para algumas aplicações, não se podendo afirmar que um seja melhor que o outro [4].

As chumaceiras de rolamentos, adiante designadas apenas por "rolamentos", são um dos tipos de componentes mecânicos que o projetista não dimensiona, limitando-se a seleccioná-lo a partir do catálogo do fabricante. É, no entanto, importante que o engenheiro industrial conheça, ainda que resumidamente, as considerações básicas da sua tecnologia [4].

2.2.4.1 Tipos de rolamentos

Os rolamentos são fabricados para suportarem cargas radiais puras, cargas axiais puras ou uma combinação de ambas. A nomenclatura de um rolamento de esferas está indicada na Figura 7, na qual se mostram as partes essenciais do rolamento: anel externo, anel interno, corpos rolantes e gaiola, sendo a nomenclatura do rolamento, de rolos cónicos, é mostrada na Figura 8 [4].

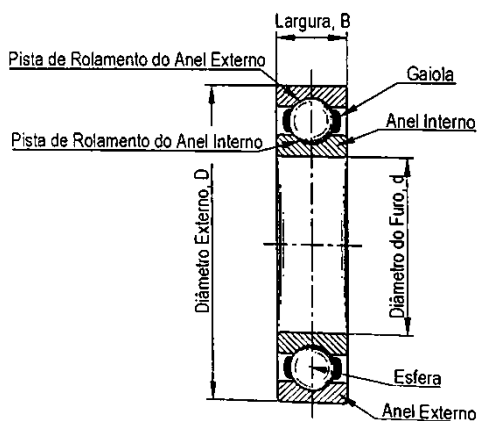


Figura 7 - Nomenclatura rolamento de esferas [4].

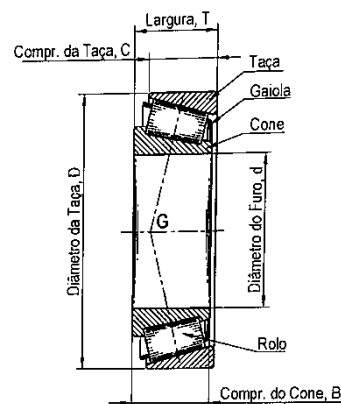


Figura 8 - Nomenclatura rolamento de rolos cónicos [4].

A função da gaiola é manter os corpos rolantes equidistantes e evitar o seu contacto mútuo. No caso de rolamentos separáveis, ela evita que os corpos rolantes se

afastem do rolamento. Em alguns tipos de rolamentos não existe gaiola como, por exemplo, nos de muita pequena dimensão e em alguns rolamentos de rolos cilíndricos [4].

Em virtude da grande diversidade de exigências de aplicação, encontram-se disponíveis nas principais dimensões normalizadas numerosos tipos de rolamentos. A sua classificação é feita segundo a natureza das cargas que permitem e a forma dos corpos rolantes [4].

Outro critério de classificação diz respeito ao modo de apoio (por exemplo, com possibilidade de dilatação axial do veio, apoio axial do veio em uma ou ambas as extremidades, adaptabilidade angular, ou seja, compensação de erros de alinhamento dos apoios e de ângulos de flexão do veio). Porém, o principal critério de classificação dos tipos de rolamentos é o que se refere à forma dos corpos rolantes, Tabela 1 [4].

Tabela 1 - Tipos de rolamentos [4].

Quanto à direção principal da carga	Quanto à forma dos corpos rolantes
<ul style="list-style-type: none"> • Rolamentos radiais (ângulo de carga $>45^\circ$) • Rolamentos axiais (ângulo de carga $<45^\circ$) 	<ul style="list-style-type: none"> • Rolamentos de esferas • Rolamentos de rolos (cilíndricos, cónicos ou esféricos) • Rolamentos de agulhas

2.2.4.1.1 Rolamentos de esferas

Os mais importantes tipos de rolamentos de esferas são [4]:

- a) De pistas profundas.
- b) Com orifício de enchimento.
- c) De duas carreiras,
- d) Autocompensador.
- e) De contacto angular.
- f) De contacto angular com duas carreiras.
- g) De quatro pontos de contacto.
- h) Axial de escora simples.
- i) Axial autocompensador.
- j) Axial de escora dupla
- k) Axial de contacto angular

Entre os vários tipos de rolamentos de esferas o que apresenta maior aplicação em parte devido ao seu baixo preço é o rolamento de uma carreira de esferas, Figura 9 [4].

As esferas são montadas por deslocamento excêntrico do anel interno, de forma a que este fique em contacto com o anel externo. Nesta, posição, introduz-se o maior número possível de esferas nas pistas, seguindo da centragem dos anéis entre si. As esferas são então separadas e mantidas equidistantes através de colocação de gaiola. Este tipo de rolamento é caracterizado por uma boa capacidade de carga radial e axial, reduzida adaptabilidade angular e elevado limite de velocidade angular [4].

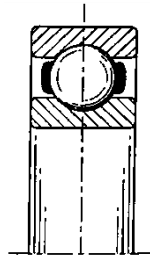


Figura 9 - Rolamento de uma carreira de esferas [4].

Os tipos mais importantes de rolamentos axiais de esferas são [4]:

Rolamentos com anéis de base planos fabricados em escora simples, Figura 10.

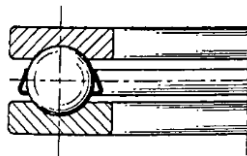


Figura 10 - Rolamento axial de esferas com escora simples e anéis da base plana [4]-

Os rolamentos axiais de esferas têm uma função autocompensadora de desalinhamentos. Admitem carga axial elevada e carga radial nula e o limite de rotação é médio, devido ao efeito desfavorável da força centrífuga [4].

2.2.4.2 Rolamentos de rolos

Os mais importantes tipos de rolamentos de rolos são [4]:

- a) De rolos cilíndricos.
- b) De uma carreira de rolos esféricos (autocompensador).
- c) De duas carreiras de rolos esféricos.
- d) De agulhas.
- e) De rolos cónicos.

- f) Montagem em “X” de um par de rolamentos de rolos cónicos.
- g) Axial autocompensador.
- h) Axial de agulhas.
- i) Axial de rolos.
- j) Axial de rolos cónicos.

Nos rolamentos de rolos cónicos, Figura 11, os elementos rolantes são troncos de cone de tal modo desenhados que as geratrizes das superfícies das pistas de rolamento se prolongam de modo a encontrar-se num ponto comum do eixo geométrico do rolamento, o que permite um movimento relativo de rolamento puro entre os rolos e as pistas, ou seja, sem deslizamento. Combinam as vantagens dos rolamentos de esferas com as dos rolamentos de rolos cilíndricos, já que podem admitir cargas radiais ou cargas axiais ou qualquer combinação de ambas, e têm uma elevada capacidade de carga, tal como os rolamentos de rolos cilíndricos. O anel interno e o externo podem ser montados em separado. Como estes rolamentos admitem cargas axiais somente num sentido, é normalmente necessário um outro rolamento em posição oposta para permitir um contra-apoio, obtendo-se assim montagens em “X” e em “O” [4].

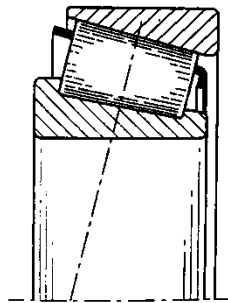


Figura 11 - Rolamento de rolos cónicos [4].

Segundo prescrição, os rolamentos de rolos cónicos são pareados na posição “X”,

Figura 12. A folga axial do par de rolamentos é determinada por um anel colocado entre os dois anéis externos [4].

Devido à forma dos corpos rolantes, observa-se uma razoável diversidade de proporções geométricas nos rolamentos de rolos cónicos, podendo estes apresentar-se com rolos curtos, com rolos longos e com pequeno ou grande ângulo de cone. Este tipo de rolamento, tal como o de rolos cilíndricos, tem uma adaptabilidade angular muito baixa [4].

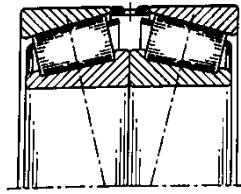


Figura 12 - Posicionamento de dois rolamentos de rolos cônicos em "X" [4].

2.2.4.3 Montagem

Como acontece com todos os componentes de precisão, a manipulação dos rolamentos durante a sua montagem deve ser efetuada com muito cuidado, sendo a limpeza de importância primordial para a sua duração. Por isso, durante a operação de montagem, deve-se escolher uma sala com uma atmosfera seca e sem pó, afastada de máquinas que produzam aparas, partículas de retificação ou pó. Os outros componentes, tais como veios, suportes ou engrenagens, também devem estar rigorosamente limpos e isentos de rebarbas de maquinagem, também devem estar absolutamente limpos, aplicando-se-lhes por vezes uma pintura que seja resistente ao óleo e lubrificação [4].

A montagem de rolamentos em veios e nos alojamentos interiores é feita com um ajustamento que pode ser incerto, ou com aperto. Neste último caso, como é óbvio, é necessário realizar uma certa força axial para colocar o rolamento na sua posição. Para isso, pode-se utilizar vários métodos: mecânico, hidráulico ou térmico. A eleição de um destes métodos depende do tipo e do tamanho do rolamento. No que se refere ao tipo, devemos distinguir os rolamentos com furos cilíndricos e os rolamentos com furo cônico [4].

2.2.4.3.1 Rolamentos com furo cilíndrico

No caso de rolamentos não separáveis, é montado em primeiro lugar o anel que tem o ajuste mais forte. O método mais usado em rolamentos de pequena dimensão é o método mecânico, que consiste na aplicação de pequenos golpes de martelo sobre um casquilho colocado contra a face do anel do rolamento em montagem. Os golpes de martelo devem ser distribuídos uniformemente para evitar que o rolamento se cruze. A disponibilidade de uma prensa mecânica ou hidráulica facilita bastante esta operação. Quando se pretende a introdução simultânea de ambos os anéis deve-se interpor um disco entre o rolamento e o casquilho, de forma a que a pressão seja transmitida a ambos, Figura 13 [4].

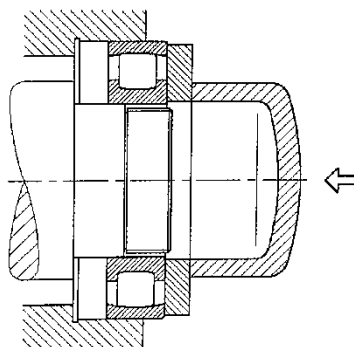


Figura 13 - Interposição de um disco para montagem simultânea dos dois anéis do rolamento [4].

No caso de rolamentos separáveis, o aro interior pode ser montado independentemente do exterior, o que simplifica a montagem, em particular quando ambos os anéis têm ajustes apertados [4].

Os rolamentos de maior dimensão nem sempre podem ser montados a frio, já que a força requerida para montar o rolamento aumenta consideravelmente com o tamanho deste. Nestes casos, pode-se utilizar o método térmico, que consiste em aquecer os rolamentos para a montagem do anel interno, ou os alojamentos (por exemplo, os cubos de roda) para a montagem do anel externo, antes de proceder à operação de montagem. A diferença de temperaturas entre o aro do rolamento e o veio ou alojamento depende do grau de aperto e diâmetro de assentamento do rolamento. Nos catálogos de rolamentos são apresentados diagramas que permitem obter esses valores de uma forma expedita [4].

Porém, em nenhum caso se deve aquecer um rolamento acima de 125°C , para que não ocorram alterações dimensionais. Os rolamentos com placas de proteção e de vedação, em virtude de virem de fábrica lubrificados para a vida com massa, não devem ser aquecidos [4].

Uma outra solução muito comum para montagem de rolamentos pode ser vista na Figura 14. A imobilização axial dos anéis internos é feita através de porcas roscadas no veio que os apertam contra batentes previamente maquinados. O anel externo do rolamento do lado esquerdo é também forçado contra um batente existente no alojamento, através de um dispositivo que não é mostrado na figura, mas que poderia ser, por exemplo, uma tampa roscada diretamente ou através de um conjunto de parafusos. O outro rolamento não tem constrangimento axial no alojamento [4].

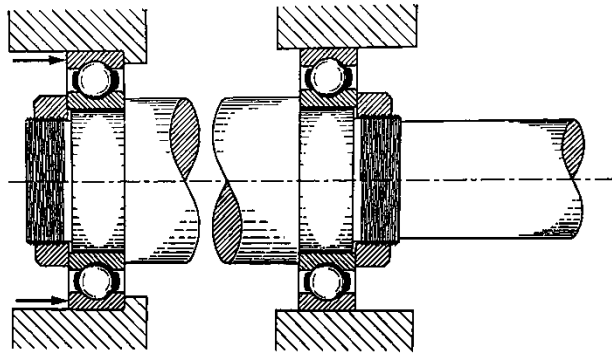


Figura 14 - Montagem comum de rolamentos de furo cilíndrico [4].

Na prática, podemos encontrar muitas variantes à solução ilustrada na Figura 14. Assim, no lugar de batentes no veio, é frequente usarem-se freios, o próprio cubo de engrenagens ou de polias, casquilhos de espaçamento, etc. As porcas de aperto podem, também, ser substituídas quer por freios, quer por casquilhos, fixados através de parafusos ou cavilhas cónicas. No lugar do batente do alojamento do anel externo, pode-se usar freios aplicados contra a face do rolamento ou no próprio anel externo, quando este é provido de uma ranhura criada para esse efeito [4].

Em alternativa, pode-se eliminar os dispositivos de imobilização axial dos rolamentos nos veios se os anéis externos forem completamente restringidos, Figura 15. Esta solução tem a vantagem de eliminar as roscas ou ranhuras nos veios, diminuindo, portanto, a concentração de tensões e a conseqüente probabilidade de falha por fadiga. Porém, exige um maior rigor de dimensões na direção axial ou a utilização de meios de ajuste. Tem também a desvantagem de, no caso de grandes distâncias entre rolamentos, o aumento de temperatura durante o funcionamento poder danificar os rolamentos [4].

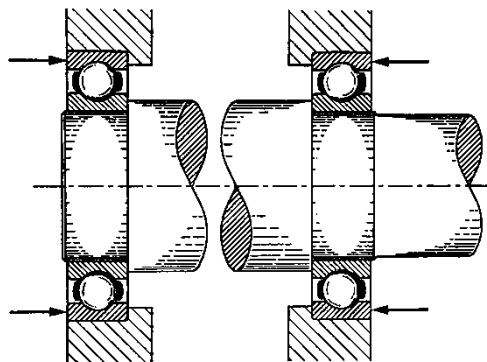


Figura 15 - Método alternativo de montagem de rolamentos [4].

2.2.4.3.2 Rolamentos de furo cônico

Os anéis dos rolamentos com furo cônico são montados sempre com ajuste apertado forte. O grau de aperto neste caso não depende, como no caso dos rolamentos de furo cilíndrico, das tolerâncias do eixo, mas sim do grau de deslocamento axial do rolamento em relação ao assentamento cônico do eixo. Em consequência do aperto introduzido, verifica-se uma diminuição da folga radial interna do rolamento, a qual indica o grau desse aperto. Nos catálogos de rolamentos é indicado, para cada tipo de rolamento, a relação existente entre a redução de folga interna e o deslocamento axial que é aplicado. Os rolamentos de pequena dimensão podem colocar-se sobre uma superfície cônica do veio ou, usando um casquilho cônico, num veio cilíndrico, e apertados através de uma porca que é roscada sobre o eixo ou sobre o casquilho [4].

Para os rolamentos maiores usa-se o método hidráulico. Neste método, o atrito entre a superfície cônica interior do anel do rolamento e a sua conjugada é significativamente reduzido durante a montagem através da criação de uma película de óleo que separa estas superfícies, tal película resulta da injeção, sob pressão, do óleo através de uma bomba. Para esse efeito, é necessário prever durante a fase de projeto a criação de orifícios e ranhuras necessários à circulação do óleo [4].

No que se refere à fixação axial dos rolamentos, podemos analisar o caso, que é mais frequente, de um veio com um apoio em cada extremidade. Os rolamentos usados nesses apoios podem ser ambos de esferas, ambos de rolos cónicos ou um de esfera e um de rolos cilíndricos. Um destes rolamentos, para além de absorver a carga radial, tem também a função de posicionar axialmente o veio [4].

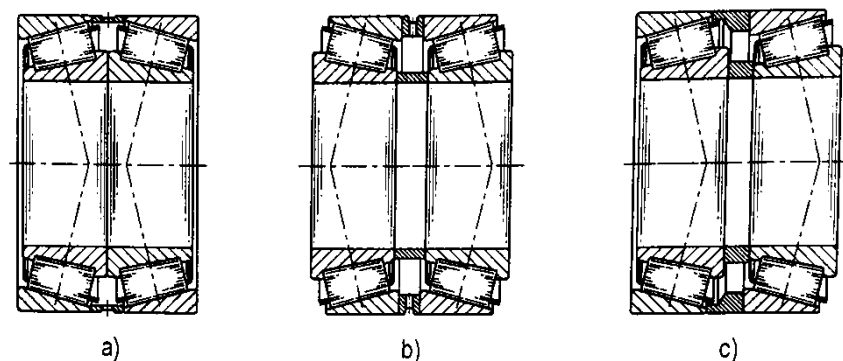


Figura 16 - Pares de rolamentos de rolos cónicos: a) Montagem em "X". b) Montagem em "O". c) Montagem em tandem [4].

Quando é necessário aumentar a rigidez de um veio ou aumentar simplesmente a capacidade de carga usam-se, frequentemente, dois ou mais rolamentos em cada apoio. Os tipos de montagem mais frequentes são (Figura 16): a montagem em “O”, que proporciona uma grande rigidez associada a uma grande capacidade de carga axial em ambos os sentidos. a montagem em “X”, que difere da anterior por se obter uma muito menor rigidez do apoio. e a montagem em “tandem”, que é usada quando a força axial tem um único sentido [4].

Os rolamentos são geralmente montados com um ajustamento de aperto no anel rotativo, seja este o interno ou o externo. O anel estacionário é montado com um ajuste incerto, permitindo assim, que em operação este deslize ligeiramente no seu alojamento, de forma a que novas porções da sua pista se apresentem à zona de contacto, favorecendo um desgaste uniforme. Nos casos em que a força aplicada tem uma direção incerta ou é acompanhada de choques consideráveis, é necessário fazer um ajustamento com aperto em ambos os anéis [4].

2.2.5 Transmissões flexíveis

A transferência de potência entre um órgão motor e um órgão movido é feita através de componentes designados por "transmissões". As transmissões de movimento circular surgem em praticamente todas as máquinas, pelo que assumem uma importância fundamental no estudo de órgãos de máquinas. Pode-se distinguir, fundamentalmente, dois tipos de transmissão [4]:

- Transmissões mecânicas.
- Transmissões hidráulicas.

As transmissões mecânicas, são baseadas nos princípios do atrito ou do contacto geométrico entre dois corpos. Os principais tipos de transmissões mecânicas baseadas nestes dois princípios são [4]:

- Por atrito:
 - Correias.
 - Cabos.
 - Rodas de atrito.
 - Embraiagens secas.
- Por contacto geométrico:

- Engrenagens.
- Correntes.
- Uniões de veios.

2.2.5.1 Cálculo de transmissões por correias

Quando se tem de transmitir potência de um veio para outro a uma distância tal que o emprego de engrenagens não seja aconselhável por qualquer razão técnica ou económica, usa-se muitas vezes uma transmissão por correia. O tipo de correia a usar depende de vários fatores entre os quais se inclui a necessidade, ou não, de manter uma relação de transmissão rigorosa. Assim, usam-se correias planas ou trapezoidais, quando a razão de transmissão não necessita ser mantida rigorosamente, e correias dentadas quando a relação de transmissão deve ser rigorosamente mantida [4].

As correias trapezoidais, assim designadas por terem secção transversal trapezoidal, são as mais utilizadas, por permitirem um entre eixo mais reduzido. A forma como as correias trapezoidais são construídas varia de fabricante para fabricante, de acordo com o tamanho da secção, os esforços e até o ambiente em que vão trabalhar. As mais comuns são constituídas por uma alma em borracha rígida com boa aderência e resistência ao desgaste, contendo no seu interior cabos tensores construídos em algodão, fibra sintética e, em casos especiais, aço [4].

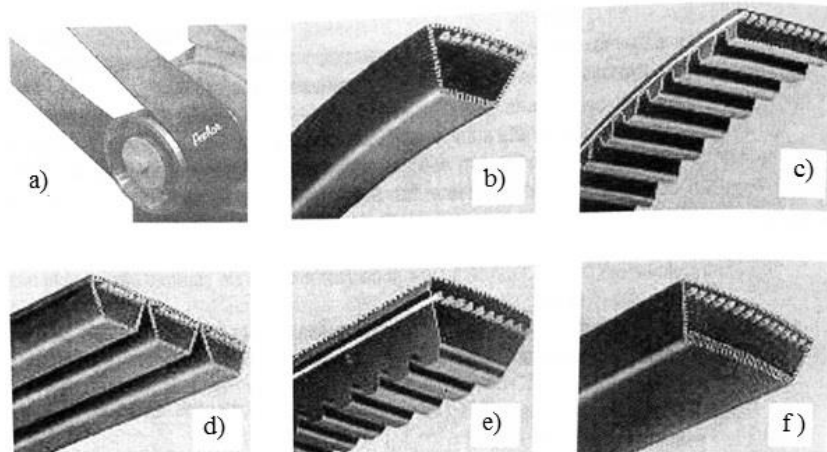


Figura 17 - Tipos de correias para transmissão de potência: a) Plana. b) Trapezoidal. c) Dentada. d) Trapezoidal múltipla. e) Trapezoidal de maior flexibilidade. f) Trapezoidal ultralarga [4].

2.2.5.1.1 Geometria

Como se pode ver nas Figura 18 e Figura 19 apresentam-se os dois tipos mais importantes de geometrias, duma transmissão por correria. A geometria da Figura 19,

designada por cruzada, é, menos frequente e a sua adoção está limitada à utilização de correias planas, tendo como objetivo obter uma inversão do sentido de rotação entre os veios motor e movido [4].

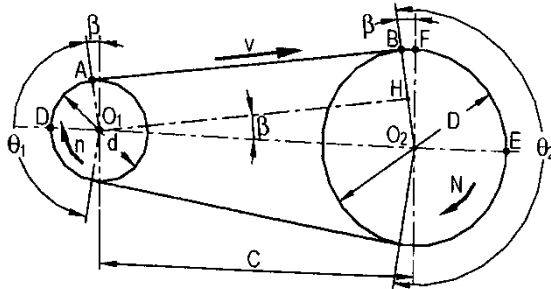


Figura 18 - Geometria de uma transmissão por correia aberta [4].

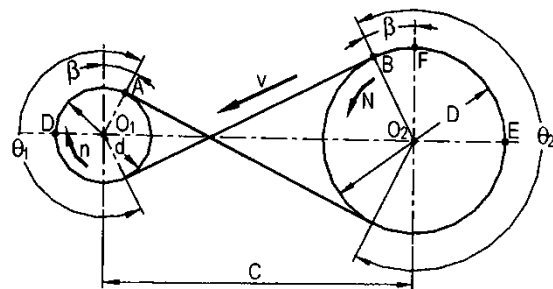


Figura 19 - Geometria de uma transmissão por correia cruzada [4].

O significado da nomenclatura apresenta na Figura 18 e Figura 19, é a seguinte [4]:

d – Diâmetro da polia motora [mm].

D – Diâmetro primitivo da polia movida [mm].

n – Velocidade angular da polia motora [r.p.m].

N – Velocidade angular da polia movida [r.p.m].

θ_1 – Ângulo de contacto da polia motora [rad].

θ_2 – Ângulo de contacto da polia motora [rad].

v – Velocidade linear da correia [m/s].

C – Distancia entre eixos [mm].

β – Ângulo formado entre os ramos da correia e a linha de eixos [rad].

- Relação de transmissão é dada pela seguinte expressão

$$i = \frac{n}{N}$$

Por análise da geometria das Figura 18 pode chegar-se às seguintes expressões do comprimento primitivo da correia (L) (nas unidades acima indicadas) [4]:

- Expressão exata para comprimento da correia

$$L = \frac{\pi}{2}(d + D) + 2 \sin \frac{\theta_1}{2} + \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\theta_1}{\pi}\right)(D - d)$$

Para valor de baixos de β , o que se verifica normalmente, pode obter-se uma expressão mais simples a partir da expressão anterior [4]:

- Expressão aproximada para o comprimento da correia

$$L = \frac{\pi}{2}(D - d) + 2C + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

2.2.6 Freios

A generalidade das máquinas trabalha a diferentes regimes de velocidades, em função das características das operações a desempenhar, sendo, assim, necessário provê-las de órgãos de controlo eficientes para assegurar a variação de velocidade [4].

A alteração do estado do movimento de um corpo só é possível mediante a aplicação de forças exteriores (ou binários), e envolve variação da sua energia cinética. Assim, o controlo do movimento implica inerentemente o controlo da energia, havendo necessidade de adicionar energia ao órgão movido nos períodos de aceleração e de absorver energia nos períodos de desaceleração [4].

Os elementos de máquinas utilizados no controlo do movimento são divididos em dois grandes grupos: os freios e as embraiagens. Ambos os tipos pertencem ao grande grupo das transmissões mecânicas e destinam-se a controlar a energia do sistema durante os períodos transitórios do movimento [4].

Os freios são utilizados para impedir movimento ou para promover a desaceleração de um elemento em movimento, podendo conduzi-lo a paragem ou apenas reduzir-lhe a velocidade. Os freios são constituídos por dois órgãos, em que um destes é fixo [4].

2.2.6.1 Classificação

2.2.6.1.1 Quanto ao tipo de atuação

Os órgãos de controlo podem dividir-se em [4]:

- Manuais.
- Molas em permanente atuação (por vezes designadas por sistemas com falha por máxima segurança).
- Centrífugas.
- Pneumáticos.
- Hidráulicos.
- Eletromagnéticos.

Tabela 2 - Sistema de frenagem correntes [4].

Energia a transformar	Modo de transformação	Energia transformada	Aplicação
Energia mecânica	Atrito sólido	Energia calorífica	Freios de desaceleração e paragem
	Atrito líquida	Energia calorífica	Freios de desaceleração e paragem
	Por correntes de Foucault	Energia elétrica transforma <i>sur place</i> em energia calorífica	Freios de desaceleração
	Criação de energia elétrica por dínamos ou motores reversíveis	a) Energia calorífica por resistência elétricas b) Energia elétrica recuperada	Freios de desaceleração
	Transformação termodinâmica por compressão de ar	Energia calorífica e energia interna do ar comprimido	Freios de desaceleração

2.2.6.1.2 Quanto à geometria

A classificação mais vulgar dos sistemas de freios pode ser vista na Tabela 3 [4].

Tabela 3 - Classificação de freios quanto à geometria [4].

De tambor	Com sapatas	Internas
	Com cinta	Externas
De disco	Convencional	
	Tipo <i>caliper</i> (travões de disco dos automóveis)	

2.3 Soluções existentes no mercado

2.3.1 Unidades de maquinagem

Estas unidades vêm equipadas com um motor elétrico, de rotação variável, que confere um movimento de rotação, a um sistema de fixação de ferramenta normalizadas ISO ou HSK, estando assim capacitada para a fixação de ferramentas normalizadas.

Uma das marcas que fabricam e comercializam este tipo de soluções é a Somex, esta dedica-se inteiramente ao desenvolvimento de produtos para a área de maquinagem e automação da mesma, disponibilizando diversas soluções de unidades maquinagem, como por exemplo a mostrada na Figura 20.

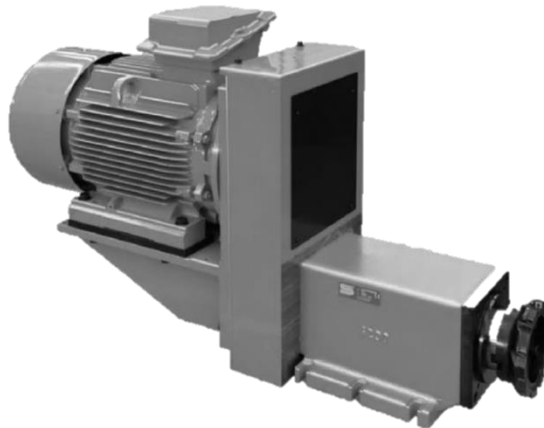


Figura 20 - Unidade de maquinagem [5].

2.3.2 Guias lineares

As guias lineares são dispositivos que tal com o próprio nome indica, garantem um movimento de forma linear ao objeto ou mecanismo que seja colocado em cima desta.

Numa guia linear, o funcionamento principal desta é assegurado por duas partes, o carril, parte que está fixa e o carro que desliza sobre esta ao longo do seu comprimento com um movimento linear, Figura 21. Apesar de o princípio de funcionamento ser básico, Figura 22, ao longo do tempo e devido à versatilidade e à elevada aplicabilidade na indústria, as guias lineares têm vindo a evoluir, encontrando-se disponíveis com mecanismos que controlam o movimento do carro ao longo da guia (velocidade,

aceleração), sensores que permitem o mais variado controlo do carro, como por exemplo a posição deste, entre outros dispositivos.

As guias lineares têm a possibilidade de quando conjugadas entre si, é possível mover-se em vários eixos cartesianos diferentes obtendo-se movimentos de mais de um grau de liberdade, Figura 23.

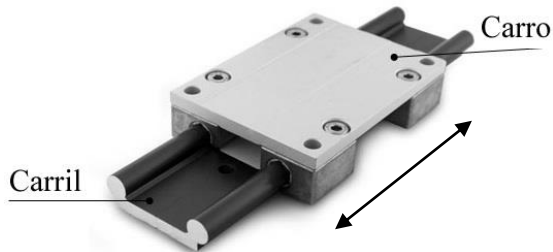


Figura 21 - Guia linear [6].



Figura 22 - Guia linear com acionamento do carro por parafuso sem fim [7].

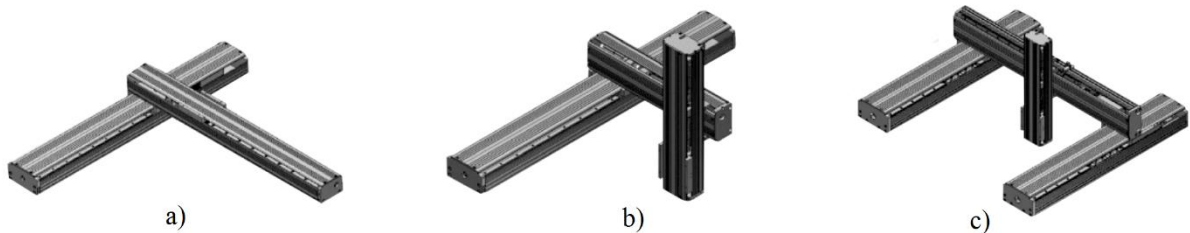


Figura 23 - Conjugações de guias lineares, a) conjugação com dois graus de liberdade. b) conjugação com três graus de liberdade. c) outra opção de conjugação com três graus de liberdade [8].

Na hora de se escolher uma guia linear é necessário analisar os catálogos facultados pelo fornecedor assim que as principais características a ter em conta são:

- Dimensões.
- Curso.
- Capacidade de carga.
- Tipo de acionamento.

Existem várias empresas que fabricam e comercializam este tipo de soluções, destacando-se as marcas Somex, Festo e Güdel.

A Somex tem no mercado uma oferta de guias lineares para serem usadas com as unidades de maquinagem, produzida por esta e referidas anteriormente, dessa forma as guias lineares têm uma ou varias unidades de maquinagem correspondentes, em que todas

as ligações, o tamanho e a capacidade de carga, estão preparadas para trabalharem em conjunto.

A Festo fornece a mais variada gama de guias lineares, sendo que cada modelo pode ser configurada em relação a vários parâmetros, sendo muito versáteis, podendo ser aplicadas nos mais diversos problemas, podendo mesmo conjugarem-se entre si de forma a obter movimentos em diversos sentidos.

A Güdel fornece guias lineares de grandes dimensões e para grandes cargas, estas são completamente automatizadas, sendo também possível adicionar diversos carros em cima destas.

Capítulo 3

3 Fases de projeto

3.1 Análise da máquina existente

A Vidropol fabrica tubos para canalizações de águas pluviais em fibra de vidro utilizando o processo de fabrico de enrolamento filamentar. Esses têm um comprimento compreendido entre os 2 e os 12 m e um diâmetro compreendido entre os 0,4 m e os 0,9 m, o perfil dos tubos conta com um alargamento numa das extremidades, denominado de abocardado, como se pode ver na Figura 24.

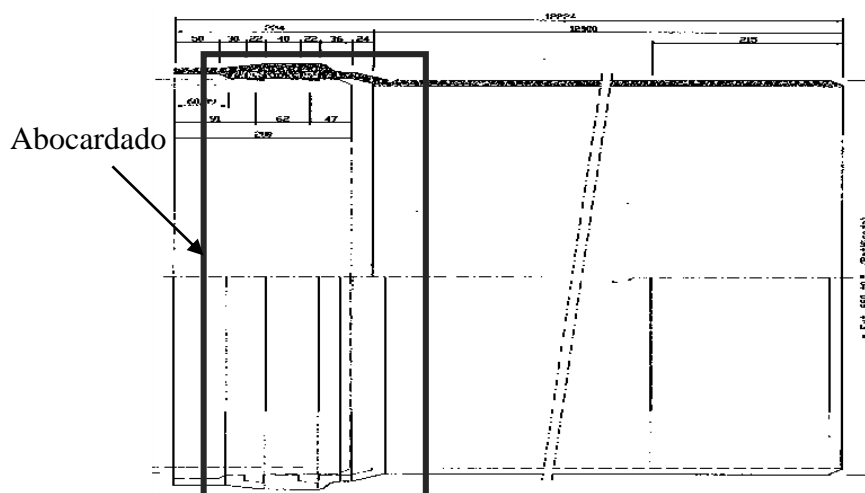


Figura 24 - Corte transversal do perfil do tubo de 600mm de diâmetro.

Após o fabrico do tubo na máquina enrolamento filamentar é necessário cortar os topos para garantir que estes fiquem perpendiculares ao eixo, para essa operação é usado um disco de corte diamantado. Os tubos serão montados uns nos outros, pelo que necessita de uma preparação dos bordos para garantir um correto posicionamento dos tubos e impedir que a água escoe do interior das tubagens pelas juntas. Para garantir esses

objetivos é necessária a existência de ranhuras para a instalação de vedantes e os bordos com diâmetros diferentes para permitir o encaixe dos tubos uns nos outros.

Os tubos têm que levar duas ranhuras que têm a função de alojar os vedantes e restringir do movimento dos tubos após a sua instalação em serviço. As ranhuras deixadas pelo molde utilizado no processo de enrolamento filamentar são pouco precisas e ineficientes e, como tal, seria importante melhorar a precisão e toleranciamento destas ranhuras.

Para garantir um bom encaixe entre os tubos é necessário que, na região de sobreposição dos tubos, o toleranciamento dimensional seja mais apertado do que o alcançado com os processos de fabrico convencionais de materiais compósitos e uma baixa rugosidade. Para isso, é utilizado um processo de retificação recorrendo a uma mó com aglomerante de baquelite e abrasivo de diamante policristalino artificial. Esta mó tem um diâmetro de 216 mm e largura 220 mm, Figura 28. Esta operação permite uma melhoria, tanto na rugosidade superficial como na precisão dimensional.

O tubo é suportado nas extremidades por dois cabeçotes, que integram os dispositivos de maquinagem, um deste cabeçotes também transmite rotação ao tubo, durante o processo de maquinagem, assemelhando-se ao funcionamento a um torno mecânico, a grande diferença, é que neste caso as ferramentas de maquinagem têm rotação própria, e não existe movimentos de avanço durante a maquinagem, as ferramentas têm apenas sistemas de ajuste de posicionamento de ferramenta no mesmo plano que o eixo de rotação que, após estarem posicionadas, a maquinagem é feita a partir de um movimento de penetração.

Esta máquina é composta principalmente por, um cabeçote móvel (CM), um cabeçote fixo (CF), um carril e duas preguiças, tendo a capacidade de cortar o tubo em ambas extremidades, no sentido transversal ao eixo longitudinal, tem também a capacidade de retificar a parte externa do tubo na extremidade oposta ao abocardado, e no sentido paralelo ao eixo longitudinal.

O cabeçote móvel, que como o próprio nome indica, tem a possibilidade de se mover ao longo de um carril, Figura 25 a) adaptando-se assim aos diferentes comprimentos dos tubos a maquinar. Este tem como principais funcionalidades servir de contraponto e cortar os tubos no sentido transversal ao eixo longitudinal do tubo na extremidade do abocardado com um movimento de avanço da ferramenta de corte como se pode ver na Figura 26 a), o contraponto conta com um sistema que permite ter um pequeno ajuste no sentido longitudinal, permitindo assim ajustar a posição em que o tubo

é cortado, Figura 25 a) e Figura 26 b), quer isto dizer, como a ferramenta de corte está fixa ao CM, caso o contraponto recue o corte é feito mais a frente, se o contraponto for avançado o tubo é cortado mais a traz.

O cabeçote fixo, que está fixo numa extremidade do carril, Figura 25 b), tem como principais funcionalidades, fixar o tubo internamente na extremidade oposta ao abocardado com uma bucha de fixação de diâmetro variável, Figura 26 d), ajustando-se assim aos diferentes diâmetros, a partir desta é transmitido o movimento de rotação ao tubo, neste cabeçote é feita a retificação externa no sentido paralelo ao tubo e o corte transversal do tubo, o corte e a retificação é feito em simultâneo com uma mó que tem acoplado um disco de corte de maior diâmetro que a mó, esta ferramenta tem dois graus de liberdade no mesmo plano ortogonal como se pode ver na Figura 26 e).

As preguiças são dispositivos que permitem suportar cargas verticais e manterem-se estáticas durante a maquinação, tendo que ser ajustadas em altura, dependendo do diâmetro do tubo, antes de lhe ser aplicada a carga vertical. O posicionamento entre os dois cabeçotes é feito de forma manual, de forma a evitar a flexão do tubo, Figura 25 d) e Figura 26 c).

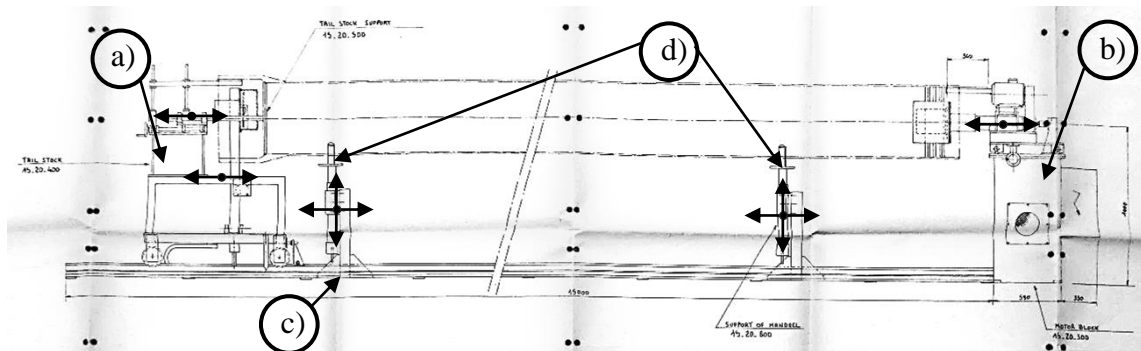


Figura 25 - Vista total lateral da máquina existente na Vidropol, com destaque para os movimentos possíveis das diferentes partes da máquina e os principais componentes, a) Cabeçote fixo, b) Cabeçote móvel, c) Carril, d) Preguiças.

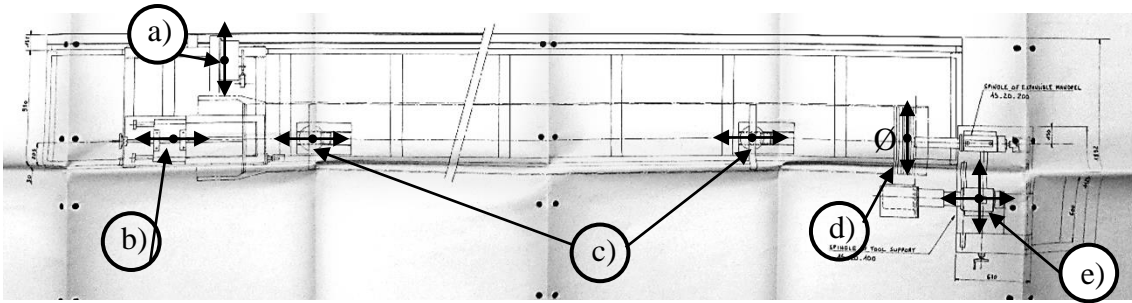


Figura 26 - Vista total de topo da máquina existente na Vidropol, com destaque para os movimentos possíveis das diferentes partes da máquina, a) Ferramenta de corte, b) Sistema de ajuste posicionamento de corte, c) Preguiças, d) Bucha de fixação interior, e) Sistema de posicionamento da ferramenta de maquinagem (corte e retificação).

3.1.1 Funcionamento da máquina existente

Para descrever o funcionamento do equipamento de maquinagem existente, apresentar-se-á um exemplo aplicado a um tubo de 6m comprimento e 400mm de diâmetro. Assim, os principais passos são:

1. Afastar o CM aproximadamente 8m do CF.
2. A mó do CF é afastada 300mm do eixo de rotação do tubo.
3. A ferramenta de corte do CM é colocada na posição inicial.
4. Coloca-se o disco para tubos, com diâmetro de 400mm no veio de fixação do CM.
5. Colocam-se as preguiças numa altura correspondente ao diâmetro do tubo.
6. Através de um guindaste coloca-se o tubo ente os dois cabeçotes.
7. Alinha-se o tubo com ambos os cabeçotes.
8. Através de um parafuso sem fim, de forma manual, é efetuado o ajuste do contraopdo de forma a posicionar o local do corte.
9. Através de uma cinta com esticador presa em ambos os cabeçote é feito o movimento de avanço do cabeçote móvel, que após o disco bater no estreitamento do abocardado obriga a outra extremidade do tubo a entrar na bucha de fixação do CF.
10. Após a entrada da bucha de fixação no tubo, é acionado o sistema de abertura da mesma, de forma que este exerça uma força na parte interna do tubo, para que este não se desloque no eixo longitudinal e para lhe conferir um movimento giratório.
11. Aciona-se o motor que está ligado à bucha de fixação no CF, conferindo rotação ao tubo.

12. Através da mesa de dois eixos manual existente no CF, posiciona-se a ferramenta em relação ao tubo.
13. Aciona-se o movimento de rotação da ferramenta do CF.
14. Faz-se um movimento de penetração, lento, da ferramenta de maquinagem existente no CF, no sentido perpendicular ao eixo longitudinal do tubo, retificando o tubo no seu exterior de forma paralela ao eixo longitudinal, e também cortando-o na perpendicular ao mesmo eixo.
15. Efetuar o recuo da ferramenta da maquinagem de forma manual.
16. Desliga-se o movimento de rotação da ferramenta do CF.
17. Aciona-se o movimento de rotação do disco de corte do CM.
18. Através de um atuador pneumático, é feito o avanço da ferramenta de corte presente no CM, efetuando um corte perpendicular ao eixo longitudinal no tubo.
19. Recua-se a ferramenta de corte para o ponto inicial.
20. Desliga-se o movimento de rotação da ferramenta do CF.
21. Desliga-se a rotação do tubo.
22. Está completo o processo de maquinagem é só retirar o tubo da máquina.

3.1.2 Problemas na máquina existente

A máquina existente tem uma elevada versatilidade, permitindo maquinar tubos de vários tamanhos, contudo, tem algumas limitações importantes, nomeadamente, a elevada dificuldade para ajustar a máquina aos diferentes diâmetros e o limitado sistema de ajuste da posição de corte. Não obstante, de seguida serão apresentadas e descritas, com maior pormenor, algumas destas limitações.

As limitações que destacam no CF referem-se ao elevado escorregamento que ocorre na bucha de fixação interna e a impossibilidade de ajuste da bucha de fixação a todos os diâmetros pretendidos e utilizados pela Vidropol.

Alguns dos principais dificuldades do CM relacionam-se com a flexão do veio que apoia o tubo (diâmetro do veio 40mm), com a dificuldade na movimentação do CM ao longo do carril, com ineficiente imobilização CM durante a maquinagem e com o baixo valor do ajuste da posição do tubo em relação à ferramenta de corte.

Uma das principais limitações do sistema existente na Vidropol, prende-se com o sistema do ajuste de intervalos fixos (25 em 25 mm) utilizado nas preguiças.

3.2 Considerações iniciais para a nova máquina

Como considerações iniciais, os responsáveis da Vidropol forneceram várias informações referentes aos tubos produzidos na máquina de enrolamento filamentar e que pretendem maquinar com o novo equipamento desenvolvido no âmbito deste trabalho. Também foram indicadas algumas condições de trabalho da máquina existente e que pretendem manter na nova máquina, nomeadamente, as seguintes condições de trabalho:

- Peso máximo do tubo: 1000kg
- Rotação máxima do tubo: 30 rpm (parâmetro da máquina existente)
- Diâmetro mínimo: 400mm
- Diâmetro máximo: 900mm
- Comprimento mínimo: 2m
- Comprimento máximo: 12m
- Rotação mínima das ferramentas de retificação 3000rpm (parâmetro da máquina existente)

3.2.1 Requisitos para a nova máquina

Para além das considerações iniciais fornecidas pela Vidropol, esta também pretende que a nova máquina cumpra os seguintes requisitos:

- Melhoria da BF interna do CF, reduzindo o escorregamento desta relativamente ao tubo durante o movimento de rotação.
- Melhoria da BF interna do CF, conseguindo que esta se adapte a todos os diâmetros de tubos a maquinar.
- Maquinagem das duas cavidades, com o perfil demonstrado na Figura 27, no interior do abocardado no sentido perpendicular ao eixo longitudinal do tubo, para tubos com diâmetros compreendidos entre os 400mm e 900mm.
- Manter o corte do tubo na extremidade do abocardado no sentido perpendicular ao eixo longitudinal do tubo.
- Diminuição da flexão do veio que serve de contraponto no CM.
- Aumentar o ajuste da ferramenta de corte e retificação no CM.
- Manter a mó existente no CF, Figura 28.

adequada para o projeto em desenvolvimento. Selecionando uma determinada solução, todos os elementos mecânicos que fazem a interface entre o equipamento selecionado e resto da máquina, bem como o suporte dos equipamentos adquiridos, foram desenhados de acordo com as dimensões adequadas para um funcionamento correto da máquina.

3.3.1 Soluções dos problemas existentes

Abordando inicialmente o CM, decidiu-se que o diâmetro do veio que servirá de contraponto, será aumentado de 40mm para 60mm, com esta alteração será reduzida a flexão na extremidade do veio, evitando movimentos indesejados no tubo durante a maquinagem. Em relação ao posicionamento do sistema de retificação relativamente ao tubo, este terá dois graus de liberdade no mesmo plano ortogonal, podendo assim permitir maior ajuste da posição da ferramenta de corte e retificação.

Para o CF, visto que também necessita de um sistema de retificação, optou-se por seguir os passos do CM e implementar um sistema de ajuste da ferramenta igual. Este cabeçote contará também com uma bucha de fixação interior reformulada, adaptando-se a todos os diâmetros de tubo a maquinar, esta bucha de fixação será responsável por conferir também movimento giratório ao tubo.

Em relação às preguiças, estas serão desenhadas para ter um sistema de regulação de altura utilizando um parafuso sem-fim, garantindo um ajuste milimétrico para os vários diâmetros de tubo.

Para que tudo isto funcione será utilizado um carril, idêntico ao da máquina existente, com vários carros que terão um grau de liberdade no eixo longitudinal, dessa forma as preguiças e o CM vão poder movimentarem-se longo deste, ajustando-se aos diferentes comprimentos dos tubos a maquinar.

3.3.2 Desenho

Nesta parte foram desenhadas todas as peças que fazem parte da nova máquina e que será necessário produzi-las, assim como os desenhos de conjunto, onde serão também representadas as soluções mecânicas comerciais adotadas e os componentes normalizados utilizados (para consulta da lista discriminada de peças para cada montagem, consultar

os desenhos de conjunto do anexo D). A partir dos desenhos de conjunto é possível analisar como são montadas todas as peças e como interagem entre si.

Para desenho de todas as peças foram consultados diversos catálogos de material, componentes normalizados e soluções mecânicas comerciais existentes no mercado que pudessem ser aplicadas na nova máquina.

Devido ao elevado número de peças o desenho desta máquina foi dividido em várias partes, sendo estas:

- Cabeçote móvel (CM).
- Cabeçote fixo (CF).
 - Bucha de fixação (BF).
- Preguiça.
- Carril.

De forma a identificar a que parte pertence cada desenho, em que ponto de maquinagem se encontra e o tipo de peça criou-se um de código para dar nome às peças, Figura 30.

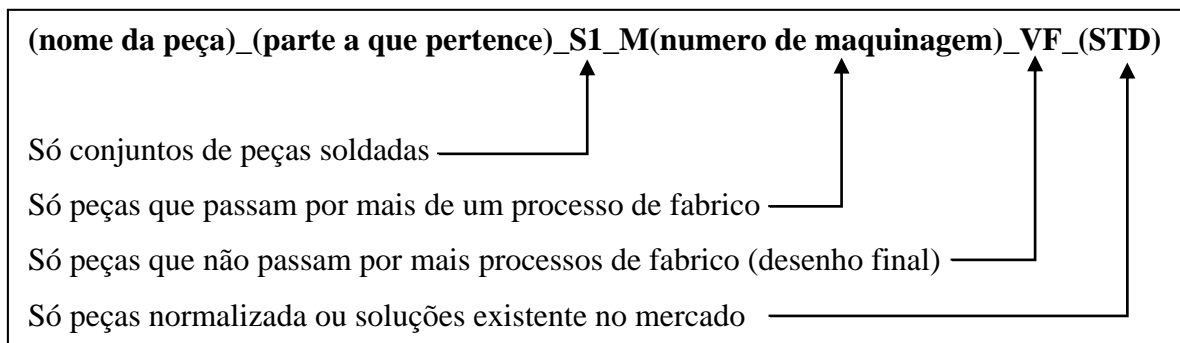


Figura 30 - Código para dar nome às peças.

3.3.2.1 Cabeçote móvel

Este cabeçote foi desenhado a partir da dimensão do veio contraponto, e das dimensões das seguintes soluções existentes no mercado:

- Guia linear festo EGC-HD-160-400-BS-10P-0H-GP (anexo C.2.1)
- Guia linear Somex UA 45CN (anexo C.2.2)
- Unidade de maquinagem Somex MAX 45B S (anexo C.1.1)

Estas soluções existentes no mercado são as responsáveis pela imposição do movimento de rotação e translação dado à mó, permitindo o seu posicionamento

relativamente ao eixo do tubo. Desta forma, é possível conferir à ferramenta, o movimento de avanço e penetração característicos do processo de retificação.

3.3.2.1.1 Veio contraponto

Este veio tem como função servir de contraponto no cabeçote móvel, para se adaptar aos diferentes diâmetros de tubos a maquinar, conta com a ajuda de um disco que será colocado na sua extremidade livre. É necessário um disco para cada diâmetro de tubo a maquinar, estes discos já eram usados na máquina existente na Vidropol.

Este veio foi desenhado para ser produzido a partir de um varão em aço ao carbono de construção, que será cortado, torneado e fresado, Figura 31.

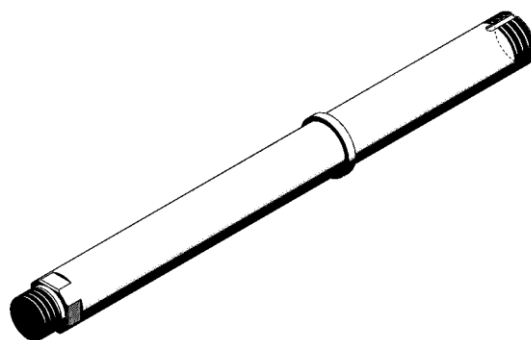


Figura 31 - Perspetiva isométrica “Veio contra ponto CM M1 VF”.

3.3.2.1.2 Suporte retentor e tampa de traz

A função destas peças é impedirem a entrada de contaminantes para o interior da chumaceira de rolamentos, a tampa posterior será completamente tapada, Figura 32, e o suporte do retentor, servirá de suporte a um retentor de 85mm de diâmetro, que impedirá também a entrada de contaminantes para o interior da chumaceira, prolongando a vida útil dos rolamentos, Figura 33.

Estas peças deverão ser produzidas a partir de um bloco de alumínio que será torneado, fresado e, por fim, furado.

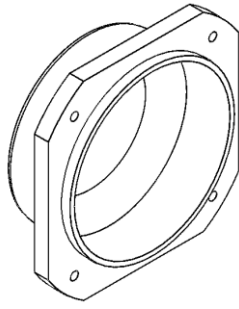


Figura 32 - Perspetiva isométrica “Tampa de traz chumaceira CM VF”.

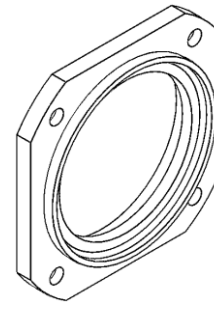


Figura 33 - Perspetiva isométrica “Suporte retentor 85mm chumaceira CM VF”.

3.3.2.1.3 Chumaceira

Esta chumaceira foi desenhada para acondicionar um par de rolamentos cónicos de roletes cónicos, montados em “O”, que estarão em contacto com o veio contraponto.

O desenho desta peça foi feito de forma a ser produzido a partir de um bloco de aço, que passará por um processo de torneamento, de fresagem e, por fim, um processo de furação, Figura 34.

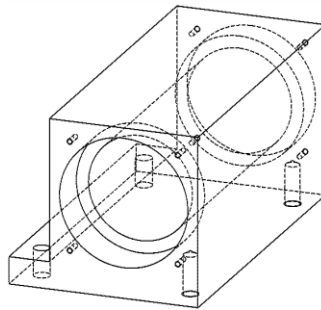


Figura 34 - Perspetiva isométrica “Chumaceira CM VF”.

3.3.2.1.4 Apoio do corte

Esta peça tem como função, segurar no anel de material de fibra de vidro produzido durante o corte transversal do tubo a maquinar, suportando-o até ao final da maquinagem. Como é um elemento cilíndrico só é possível retirá-lo no momento de retirar o tubo.

O desenho desta foi feito de forma a ser produzida a partir de um varão em aço ao carbono com perfil de geometria quadrada, que terá que ser furado e fresado, Figura 35.

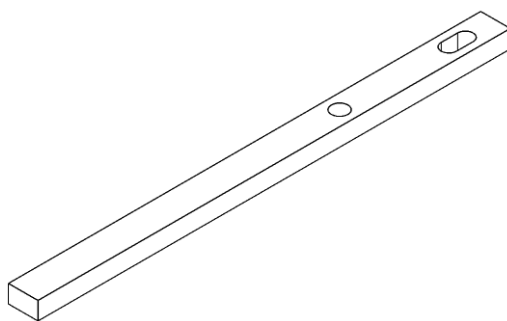


Figura 35 - Perspectiva isométrica “Apoio corte CM M1 VF”.

3.3.2.1.5 Chassi suporte da chumaceira

A função deste chassi é servir de suporte à chumaceira de rolamentos, referida anteriormente, ver Figura 34.

Este suporte foi desenhado em várias partes que serão obtidas a partir de chapa em aço de construção laminada a quente, que será cortada a laser, furada, soldada e por fim fresada de maneira a garantir que a superfície inferior e superior sejam paralelas, pois só com maquinagem se consegue garantir o paralelismo entre as duas faces com o toleranciamento geométrico exigido para esta peça, Figura 36.

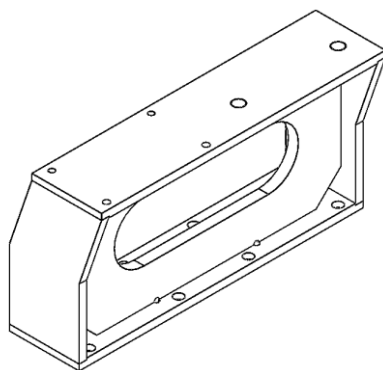


Figura 36 - Perspectiva isométrica “Chassi suporte chumaceira CM M2 VF”.

3.3.2.1.6 Casquilho de alinhamento

Esta peça tem como função garantir o correto alinhamento entre o carro da Festo e a flange que será aparafusada sobre este. Tendo o casquilho um formato circular, tem que ser usados aos pares, para desempenhar a sua função, de alinhamento.

O desenho deste efetuou-se de forma a produzi-lo a partir de tubo em aço, sem costura, que deverá que passar por um processo de torneamento para se alcançar as dimensões e tolerâncias exigidas, Figura 37.

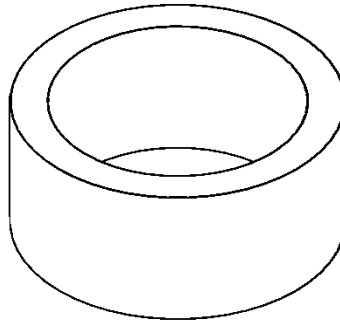


Figura 37 - Perspetiva isométrica "Casquilho guia VF".

3.3.2.1.7 Flanges de ligação

Para o funcionamento deste cabeçote, serão necessárias duas flanges, de forma a ligar duas guias lineares da Festo, colocadas perpendicularmente em relação a guia linear da Somex, que por sua vez servirá de base à unidade de maquinagem da mesma marca, Figura 38. O objetivo da ligação entre estas guias é conseguir, uma configuração, que permita o movimento da ferramenta em dois eixos no mesmo plano.

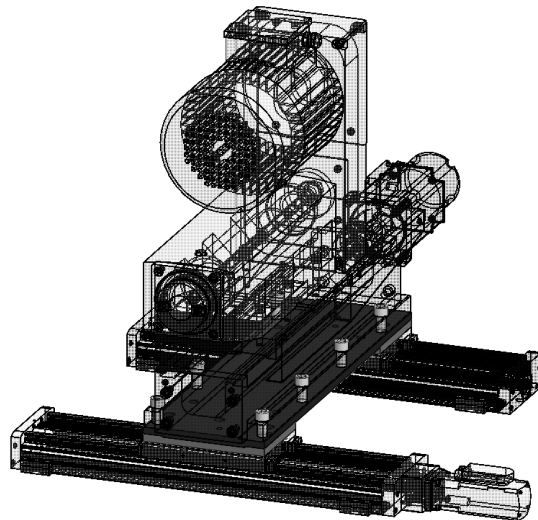


Figura 38 – Perspetiva dimétrica do sistema de movimentação da mó interior, principal destaque para as peças que unem as guias lineares entre si.

Visto que o encaixe e alinhamento destas peças requer alguma precisão, recorreu-se a casquilhos, referidos anteriormente e a alguns rebaixos nas peças, criando assim sistemas veio/furo, garantindo um adequado alinhamento entre si, Figura 39.

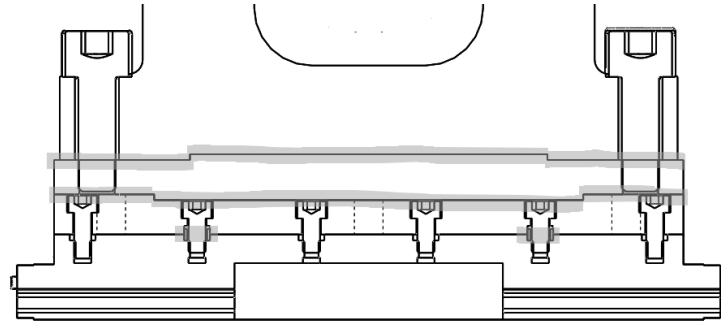


Figura 39 - Detalhes da fixação e alinhamento entre o carro da Festo as duas flanges diferentes e a guia linear Somex.

O desenho destas peças foi feito para serem obtidas, a partir de chapas de aço ao carbono laminadas a quente, cortadas a laser, fresadas e por fim furadas, Figura 40 e Figura 41.

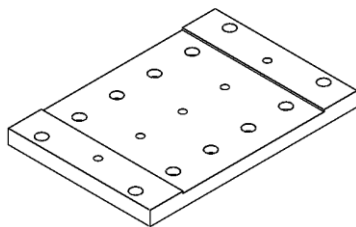


Figura 40 - Perspectiva isométrica “Chapa_carro_festo_CM_M3_VF”.

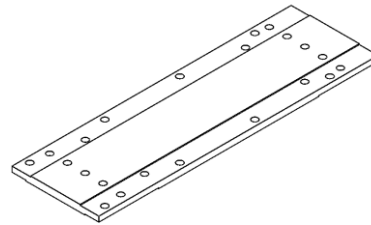


Figura 41 - Perspectiva isométrica “Base guia Somex UA45CN CM M3 VF”.

3.3.2.1.8 Chassi base do cabeçote móvel

A função deste chassi é servir de suporte a todos os elementos mecânicos referidos anteriormente, bem como, às soluções comerciais encontradas no mercado e necessárias para funcionamento do cabeçote móvel.

As peças que serão unidas com ligações aparafusadas diretamente ao cabeçote móvel, e que serviram de referência dimensional para desenho, são o “Chassi suporte chumaceira CM M2 VF” e as duas guias da Festo utilizadas.

Este suporte foi desenhado para ser produzido a partir de vários elementos individuais com uma geometria mais simples. Estes, serão obtidas a partir de chapa de aço ao carbono de construção, laminada a quente e que será cortada a laser, após o corte de todas as chapas estas serão soldadas entre si. Após a soldadura, este conjunto passa por dois processos de fresagem, o primeiro nas superfícies superior e inferior, para garantir um elevado paralelismo entre as superfícies inferior e superior, a segunda

fresagem faz um rebaixamento em algumas partes da superfície superior, que servirá de guia às peças montadas sobre este chassi. Para finalizar, é efetuado um processo de furação onde são efetuados um conjunto de furos para passagem de parafusos de fixação. Após a realização de todos estes processos de fabrico, o resultado final pode ser visto na Figura 42.

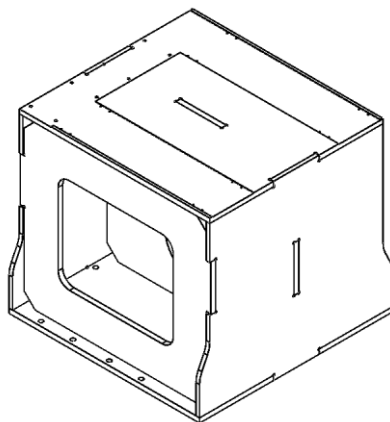


Figura 42 - Perspetiva isométrica “Chassi inferior CM M2 VF”.

3.3.2.1.9 Chassi suporte do travão CM

Este chassi irá fixar ao cabeçote móvel um sistema de travagem, tipo *caliper*, assemelhando-se a uma pinça, quando está fechado bloqueia a peça a que fica preso, quando está aberto desbloqueia a peça. O travão atua pneumáticamente, sendo necessário ar comprimido para o seu funcionamento. Sendo este um sistema de travagem negativo, isto é, está normalmente fechado, sob o efeito de uma mola quando o circuito de travagem está vazio. Para abertura do sistema de travagem, é necessário a pressurização do sistema de travagem, com ar comprimido (detalhes do travão podem ser consultados no anexo C.3.3).

O bloqueio do cabeçote móvel, é necessário para garantir que este se mantenha imóvel durante a maquinagem dos tubos, selecionou-se um sistema negativo, para garantir a segurança dos operários da máquina e evitar danificar o tubo que se está a maquinar caso ocorra, por exemplo, uma falha na corrente elétrica, durante o processo de maquinagem.

Este chassi foi desenhado para ser produzido a partir de chapas de aço ao carbono laminadas a quente, cortadas a laser e furadas que, por fim, serão soldadas entre si, Figura 43.

Contudo, este chassi será das últimas partes a montar da retificadora, pois só poderá ser montado após o cabeçote móvel ser montado sobre o carro correspondente.

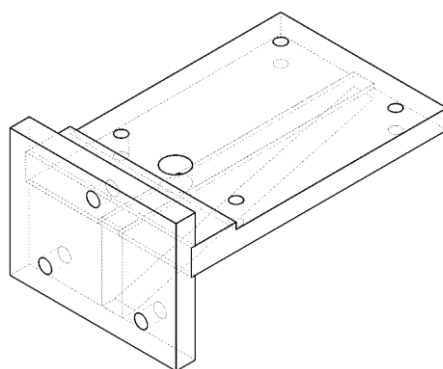


Figura 43 - Perspetiva isométrica "Chassi suporte travão CM".

3.3.2.1.10 Montagem final do cabeçote móvel

Para construção e funcionamento deste cabeçote será necessário produzir todas as peças referidas anteriormente. A montagem do CM será feita em duas etapas, na primeira é realizada a montagem do conjunto “Assembly chumaceira CM”, Figura 44. Na segunda etapa, é feita a montagem final deste cabeçote, com o nome, “Assembly final CM”, Figura 45. Após conclusão da montagem de todos os componentes entre si o resultado final pode ver-se na Figura 46 (todos os desenhos de definição, e desenhos de conjunto referentes ao CM, podem ser consultados no anexo D.1).

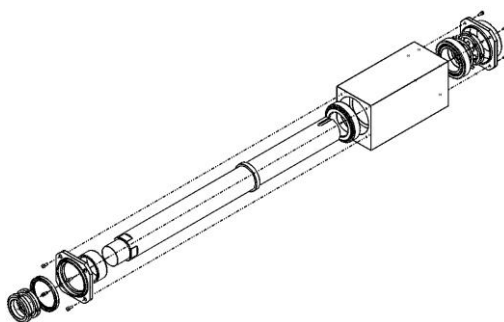


Figura 44 - Perspetiva isométrica explodia “Assembly chumaceira CM”.

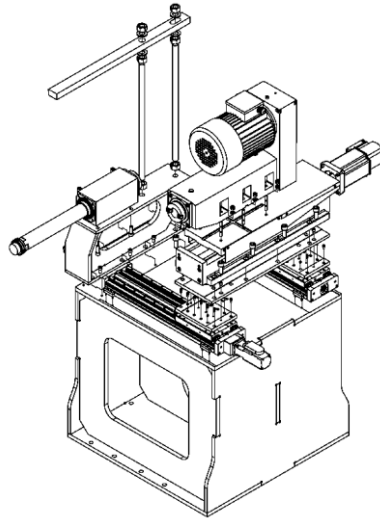


Figura 45 - Perspetiva isométrica explodia “Assembly final CM”.

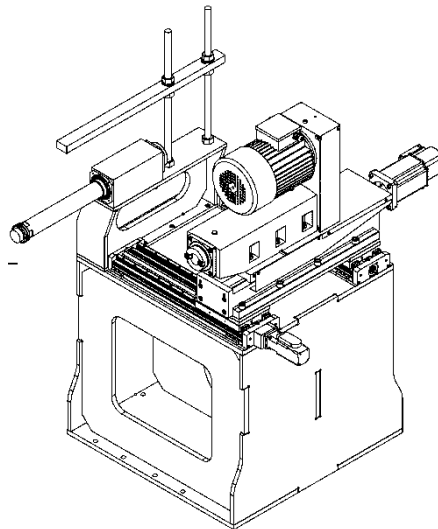


Figura 46 - Perspetiva isométrica “Assembly final CM”.

3.3.2.2 Cabeçote fixo

Para o desenho deste cabeçote tiveram-se como referencias algumas dimensões relativamente ao cabeçote móvel. Uma das dimensões que se tiveram em conta para desenho deste, foi a altura, a que o eixo do veio contra ponto, está relativamente à base do chassi base. Esta altura é importante para que ambos os cabeçotes fiquem alinhados. Outras dimensões tidas em conta para desenho deste cabeçote, foram também, as dimensões, das seguintes soluções existentes no mercado:

- Guia linear festo EGC-HD-160-400-BS-10P-0H-GP (anexo C.2.1)
- Guia linear Somex UA 100CN (anexo C.1.1)
- Unidade de maquinaçao Somex MAX 100B S (anexo C.2.2)

Este cabeçote é idêntico, tanto na estrutura como no funcionamento, ao cabeçote móvel, pois este serviu de base para desenho do cabeçote fixo, dessa forma a única diferença entre as peças são as dimensões, assim, neste capítulo só serão descritas as peças que se distingam do cabeçote móvel, todavia, os desenhos de ambos os cabeçotes podem ser consultados no, anexo D.

A diferença mais marcante do cabeçote fixo em relação ao cabeçote móvel, é que no lugar do veio contraponto, este contará com um veio que integra um sistema de fixação interno numa extremidade e uma polia na outra extremidade. Nesta polia, será acoplado um motor elétrico que conferirá o movimento de rotação à bucha de fixação que, por sua vez, permitirá a rotação do tubo de fibra de vidro (as informações, e cálculos para escolha da correia, e do motor elétrico podem ser consultadas no anexo B)

3.3.2.2.1 Veio base

Este veio servirá de base a todo o sistema da bucha de fixação, que por sua vez transmitirá movimento de rotação ao tubo em fibra de vidro a retificar.

Este veio foi desenhado para ser produzido a partir de um tubo em aço ligado, sem costura, que inicialmente será cortado, e após isto passará por vários processos de torneamento e fresagem, de forma a garantir cilindricidade e os toleranciamentos pretendidos, Figura 47.

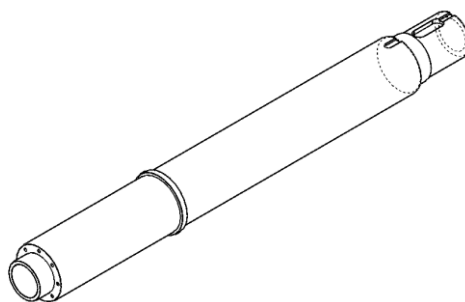


Figura 47 - Perspetiva isométrica final veio base bucha de fixação interior.

3.3.2.2.2 Parafuso de movimento

Esta peça não é mais que um parafuso com rosca quadrada, que quando lhe é conferido um movimento de rotação no sentido horário, este efetua um movimento de avanço, visto que as porcas por onde este passa, estão fixas. Com a ajuda das peças, “Centro garra 1 BF VF” e “Centro garra 2 BF VF”, referidas em capítulos posteriores, transmite o movimento de avanço ao sistema de barras paralelas, que o transformará num movimento transversal.

Este parafuso foi desenhado para ser obtido a partir de um varão de aço ligado, que será torneado, de forma a cumprir todos os requisitos, Figura 48.

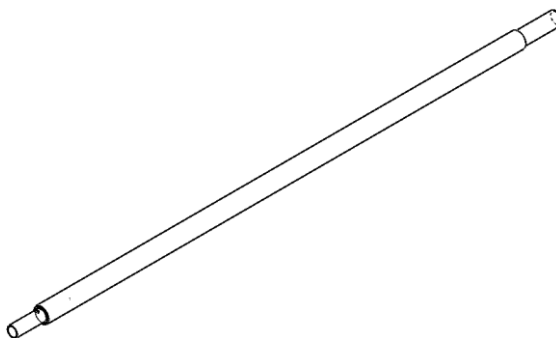


Figura 48 - Perspetiva isométrica "Fusão de força BF VF".

3.3.2.2.3 Porca de força

Devido às limitações dimensionais do tubo sem costura escolhido para obtenção do veio base, foi necessário fazer as porcas de força, que têm rosca métrica exterior, para se fixar a parte interior do veio base e rosca quadrada no interior onde passará o parafuso de movimento.

O desenho desta porca foi idealizado de modo a ser obtido a partir de tubo em aço sem costura, que passará pelos processos de torneamento e fresagem, Figura 49.

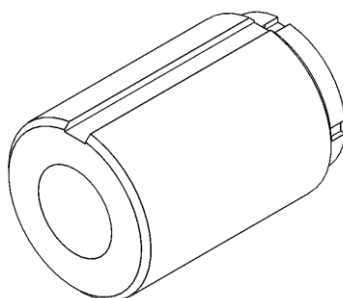


Figura 49 - Perspetiva isométrica "Porca de força BF VF".

3.3.2.2.4 Ligação entre a base da garra, o veio base e o disco de travão

Esta peça tem como função efetuar uma ligação rígida entre a base da garra, o veio base e o disco de travão.

O desenho desta peça foi realizado de maneira a que esta seja produzida a partir de tubo em aço sem costura, que será torneado e fresado, Figura 50.

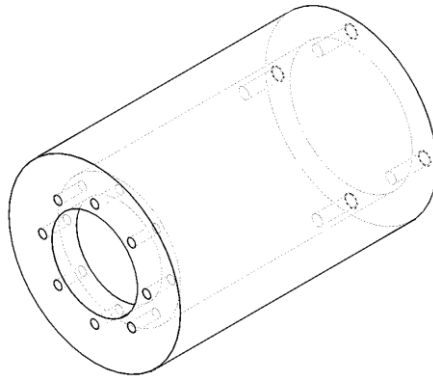


Figura 50 - Perspetiva isométrica "Ligação base garra tubo base disco travão BF VF".

3.3.2.2.5 *Contra porca de força*

Esta peça serve para bloquear o parafuso de movimento, após se fixar o tubo a maquinar, com a bucha de fixação, evitando que o parafuso de movimento se solte durante a transmissão de rotação ao tubo de fibra de vidro.

O desenho desta peça foi feito de forma a ser produzida da mesma forma que a porca de força, referida anteriormente, Figura 51.

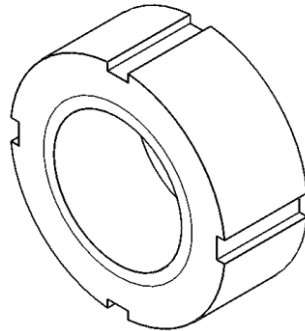


Figura 51 - Perspetiva isométrica "Contra porca de força BF VF".

3.3.2.2.6 *Base da garra*

Esta peça foi desenhada para servir de base ao sistema de fixação interior, foi desenhada para ser obtida a partir de chapa em aço, laminada a quente, que será inicialmente cortada a laser e, posteriormente, será torneada, furada e fresada de acordo com a Figura 52.

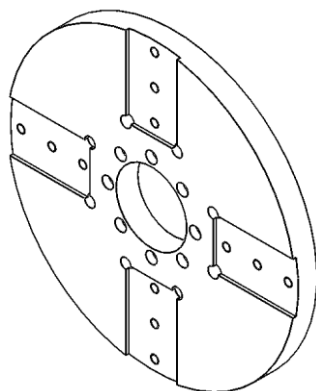


Figura 52 - Perspetiva isométrica final base bucha de fixação interna.

3.3.2.2.7 Chassi base dedos

Este chassi servirá de base a um sistema de duas barras paralelas, que se movimentam durante o processo de fixação, este chassi foi desenhado para ser obtido a partir de barras em aço retangulares que serão cortadas, furadas e, posteriormente, soldadas entre si. Após estas etapas é novamente furado, nesta fase pretende-se efetuar quatro furos passantes, dois têm o mesmo eixo e outros dois são paralelos ao primeiro par de furos. Estes furos serão feitos após a soldadura das peças para garantir que o processo de soldadura não altere o seu alinhamento, Figura 53.

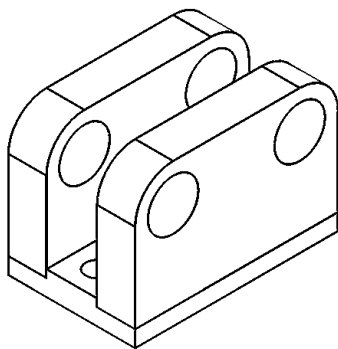


Figura 53 - Perspetiva isométrica "Chassi base dedos BF M1 VF".

3.3.2.2.8 Barra suporte do dedo

Esta barra é uma das barras do sistema de duas barras paralelas, trabalhará em paralelo com a peça "Suporte dedo BF M1 VF", que será descrita mais à frente. O desenho desta peça foi feito para esta ser produzida a partir de uma barra retangular em aço ao carbono que será cortada e furada, Figura 54.

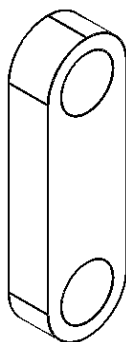


Figura 54 - Perspetiva isométrica “Barra suporte dedo BF VF”.

3.3.2.2.9 Suporte dedo

Esta peça trabalhará em paralelo com a peça “Barra suporte dedo BF VF”, como referido anteriormente, para além do movimento paralelo esta será também responsável por transformar o movimento longitudinal, num movimento transversal. Esta peça foi desenhada para ser produzida a partir da chapa de aço laminada a quente, cortada a laser e furada, Figura 55.

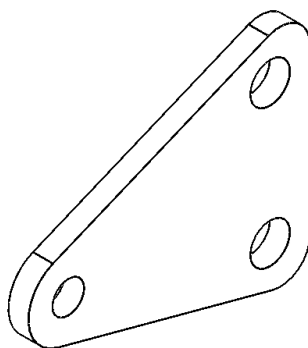


Figura 55 - Perspetiva isométrica "Suporte dedo BF M1 VF".

3.3.2.2.10 Fixação dedo

Esta peça serve de ligação entre o sistema de barras paralelas e os diferentes dedos, que entram em contacto com o tubo na fase da fixação. Estes dedos serão descritos posteriormente, neste relatório. Esta peça foi desenhada para ser produzida a partir de uma barra retangular em aço, que será fresada e furada, Figura 56.

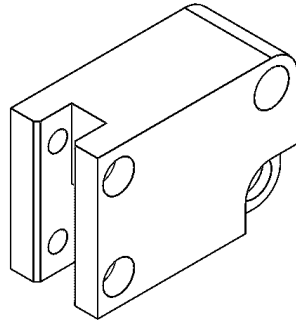


Figura 56 - Perspetiva isométrica "Fixação dedo BF VF".

3.3.2.2.11 *Casquilho*

Este elemento tem como função garantir um espaçamento entre as peças e diminuir o atrito entre elas.

Esta peça deverá ser produzida a partir de tubo em aço sem costura e passará por um processo de torneamento, Figura 57.

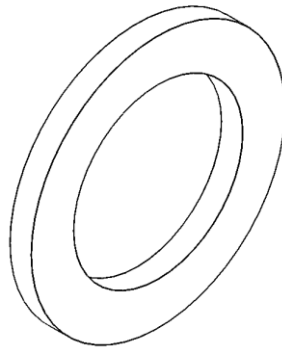


Figura 57 - Perspetiva isométrica "Casquilho d20 2.5 BF".

3.3.2.2.12 *Dedos de fixação*

Os dedos de fixação são a parte final da bucha de fixação. São estes elementos que entram em contacto com o tubo, estando ligados por dois parafusos ao sistema de barras paralelas que lhe conferirão movimento de abertura e fecho. Para que a bucha de fixação se adapte a todos os diâmetros de tubo pretendidos, são necessários três conjuntos de dedos de dimensões diferentes. Cada conjunto tem quatro dedos iguais e com estes três conjuntos consegue-se fixar tubos dos 400mm aos 900mm em incrementos de 50mm. Só é possível utilizar um conjunto de cada vez, dependendo do diâmetro do tubo. Os diâmetros que cada conjunto de dedos abrange podem ver vistos na Tabela 4.

Estes dedos deverão ser fabricados a partir de chapa de aço laminada a quente, que será cortada a laser, fresada e furada, Figura 58.

Tabela 4 - Diâmetros abrangidos por cada um dos três conjuntos de dedos.

Nome do dedo	Intervalo de diâmetros abrangidos [mm]
Dedo fixação 400-500 BF M2 VF	400 – 500
Dedo fixação 550-700 BF M2 VF	550 – 700
Dedo fixação 750-900 BF M2 VF	750 – 900

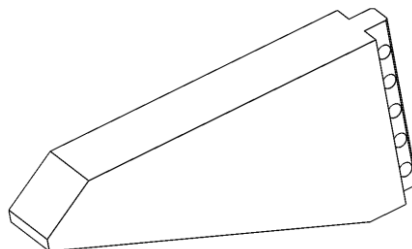


Figura 58 - Vista tridimensional "Dedo_fixacao_400-500_BF_M2_VF".

3.3.2.2.13 Pernos

Para o correto funcionamento de algumas das peças, referidas anteriormente, será necessário a utilização de veios com diferentes comprimentos e diâmetros que têm uma dupla função, estrutura e transmissão de movimento, permitindo o movimento rotativo das peças ligadas a estes veios.

Estes veios serão obtidos a partir de varão cilíndrico em aço que será torneado externamente até ao diâmetro pretendido e em cada uma das extremidades são executados dois furos roscados. Estes furos roscados servirão para fixação de uma anilha em cada extremidade do veio. Após colocação do veio no furo correspondente, serão fixas, com a ajuda de um parafuso, uma anilha, em cada uma das extremidades do veio. Essa anilha terá obrigatoriamente, maior diâmetro que o veio, para garantir que este não tenha movimentos, longitudinais. As dimensões dos diferentes veios pode ser vista na Tabela 5, assim como a vista isométrica na Figura 59.

Tabela 5 - Dimensões dos veios utilizados na bucha de fixação.

Diâmetro [mm]	Comprimento [mm]
16	75
20	30
20	50
20	75

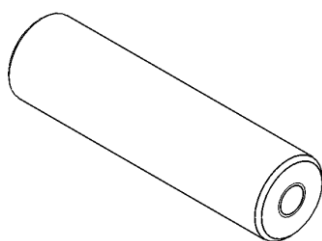


Figura 59 - Perspetiva isométrica "Perno_D20_75mm_BF_VF".

3.3.2.2.14 *Centro de garra*

Este centro de garra é formado por duas partes idênticas que estão ligadas ao parafuso, referido anteriormente, que lhe transmitirá o movimento de avanço.

O desenho destas peças foi feito para serem produzidas a partir de barras retangulares de aço ao carbono que serão fresadas e furadas, Figura 60 e Figura 61.

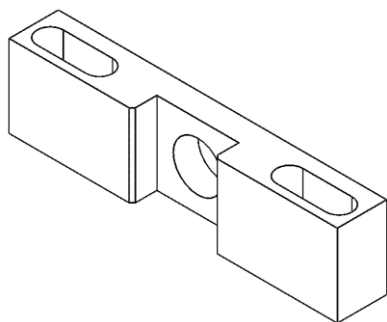


Figura 60 - Perspetiva isométrica "Centro garra 1
BF VF".

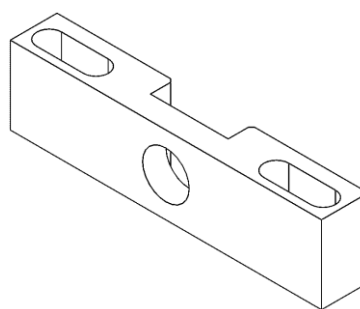


Figura 61 - Perspetiva isométrica "Centro garra 2
BF VF".

3.3.2.2.15 *Chassi suporte travão*

Este cabeçote irá integrar um sistema de travagem pneumático positivo, o que significa, que quando está em repouso mantém-se aberto, só fecha e trava quando é pressurizado com ar. A parte que este travão imobiliza, quando está fechado, é a rotação do veio que integra a bucha de fixação. Essa imobilização, é necessária, na hora de abrir a bucha de fixação, evitando que esta rode solidaria, com a rotação transmitida ao parafuso de movimento, responsável pela abertura da bucha de fixação (detalhes do travão podem ser consultados no anexo C.3.2).

Este chassi deverá ser produzido a partir de chapas em aço laminadas a quente, cortadas a laser, furadas e, finalmente, soldadas, obtendo-se a peça apresentada na Figura 62.

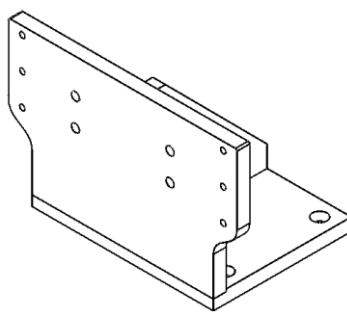


Figura 62 - Perspetiva isométrica "Proteção travão BF".

3.3.2.2.16 *Proteção do travão*

Esta peça, como o próprio nome indica, tem como função proteger o sistema de travagem que se encontra posicionado num local onde pode facilmente ser atingido pelo tubo em fibra de vidro.

Este foi desenhado para ser obtido a partir de chapa em aço ao carbono laminada a quente, cortada a laser e quinada, Figura 63.

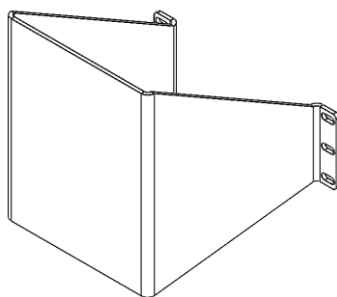


Figura 63 - Perspetiva isométrica "Proteção travão BF".

3.3.2.2.17 *Proteção das correias anterior e posterior*

Estas peças, quando montadas com a “Proteção correia superior CF VF” e a “Proteção correia lateral CF VF, têm como finalidade impedir o acesso à correia utilizada para transmitir força do motor elétrico para o veio principal, evitando, assim, que ocorram acidentes pessoais durante o funcionamento da máquina.

Estas peças deverão ser fabricadas em chapa de aço laminada a quente e cortadas a laser, Figura 64 e Figura 65.

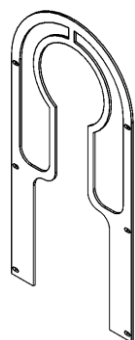


Figura 64 – Perspetiva isométrica "Proteção correia frente CF VF".

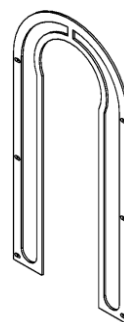


Figura 65 - Perspetiva isométrica "Proteção correia traz CF VF".

3.3.2.2.18 *Proteção das correias superior e lateral*

A funcionalidade destas peças foi descrita e referenciada anteriormente. Estas peças deverão ser produzidas a partir de chapa de aço laminada a quente, cortadas a laser e, por fim, quinadas, Figura 66 e Figura 67.

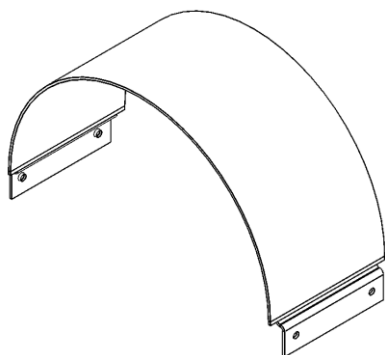


Figura 66 - Perspetiva isométrica "Proteção correia superior CF VF".

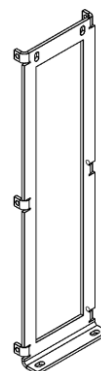


Figura 67 - Perspetiva isométrica "Proteção correia lateral CF VF".

3.3.2.2.19 *Chapa da base do motor*

Esta base tem como finalidade adaptar a distância entre a polia do motor e a polia do veio base, pois não será usado um esticador para a correia. A correia selecionada tem uma medida normalizada e, como tal, as dimensões do cabeçote terão de ser adaptadas de acordo com a dimensão da correia.

A chapa deve ser produzida a partir de chapa em aço laminada a quente, cortada a laser, e fresada em ambas as faces, Figura 68.

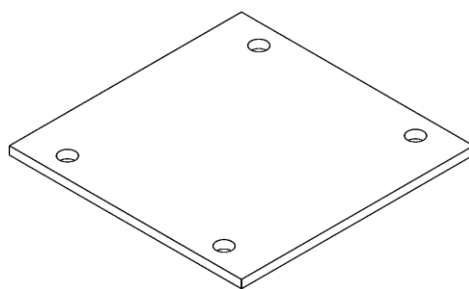


Figura 68 - Perspetiva isométrica "Base motor CF M1 VF".

3.3.2.2.20 Anilha de fixação polia

Esta peça tem como função ajudar a fixar a polia ao motor elétrico. É necessário o seu fabrico porque o veio do motor é mais curto do que a espessura da polia. Esta, será fixa ao veio do motor através de uma ligação aparafusada.

Para fabrico da anilha é usado um varão cilíndrico em aço, que será obtido a partir de um processo de torneamento, Figura 69.

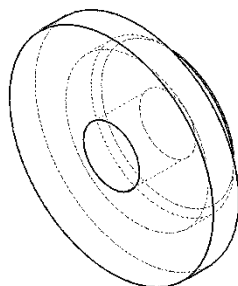


Figura 69 - Perspetiva isométrica " Anilha fixação polia CF VF".

3.3.2.2.21 Montagem final do cabeçote fixo

A montagem do CF será dividida em quatro partes, sendo estas, a montagem do conjunto “Assembly dedo BF”, Figura 70, que fará parte do conjunto “Assembly final chumaceira BF”, Figura 71, a montagem da proteção da correia com o nome “Assembly proteção correia CF”, Figura 72, e por fim a montagem final deste cabeçote, que agrupa todos os conjuntos referidos anteriormente, com o nome “Assembly final CF”, Figura 73 (todos os desenhos de definição, e desenhos de conjunto referentes à BF e ao CF, podem ser consultados no anexo D.2 e D.3, respetivamente).

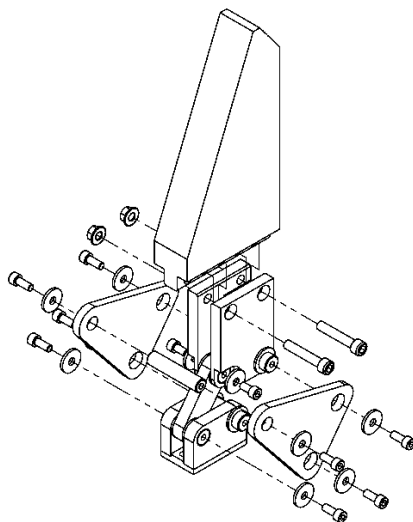


Figura 70 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly dedo BF”.

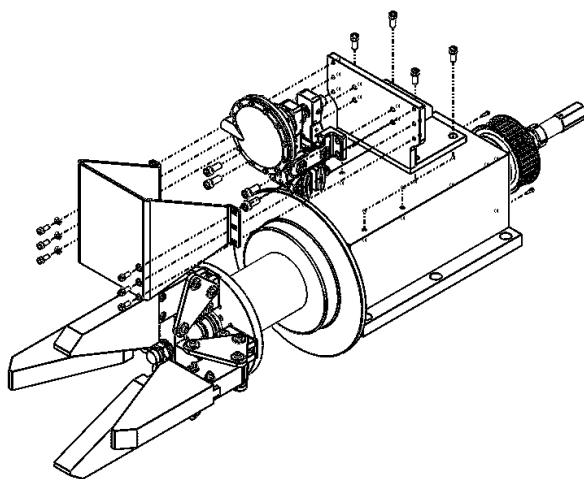


Figura 71 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly final chumaceira BF”.

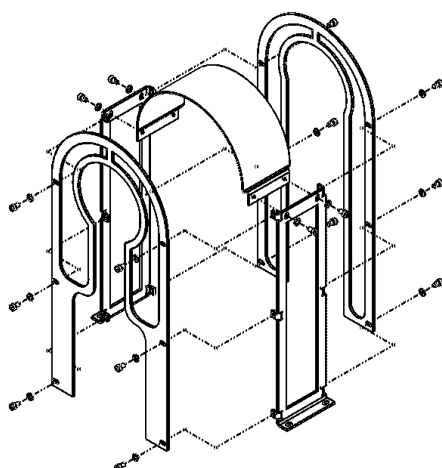


Figura 72 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly proteção correia CF”.

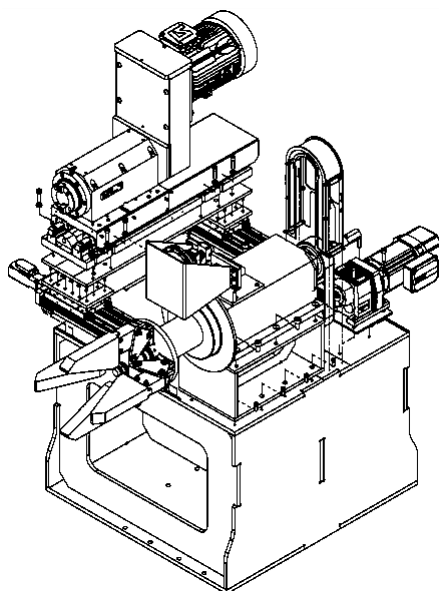


Figura 73 - Perspetiva isométrica explodia do desenho de conjunto “Assembly final CF”.

3.3.2.3 Preguiça

Este dispositivo é composto por diferentes componentes que depois de montados, permitem converter o movimento de rotação de um parafuso de movimento num movimento de translação ascendente e descendente. Deste modo, é possível adaptar a altura da preguiça ao tubo que se pretende maquinar.

3.3.2.3.1 Calha base, calha superior e calha suporte

Estas calhas foram projetadas para serem produzidas a partir de uma chapa em aço laminada a quente que inicialmente será cortada a laser, após esta operação passa por um processo de furação e fresagem, em que serão executados os furos e os entalhes necessários. Finalmente, esta chapa será quinada para lhe conferir uma forma semelhante à de um perfil em U, Figura 74, Figura 75 e Figura 76.

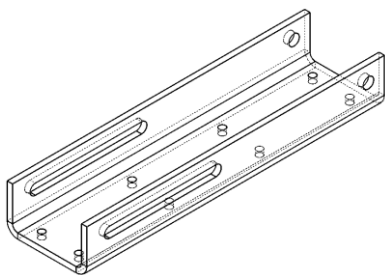


Figura 74 - Perspetiva isométrica “Calha base preguiça VF”.

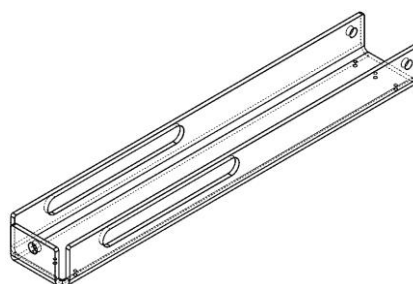


Figura 75 - Perspetiva isométrica “Calha superior preguiça VF”.

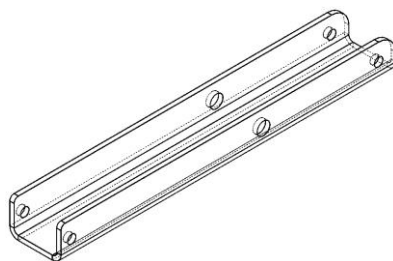


Figura 76 - Perspetiva isométrica “Calha suporte centro preguiça VF”.

3.3.2.3.2 Barras suporte

Estas barras foram desenhadas para ser produzida praticamente como as calhas referidas anteriormente, a única diferença é que estas só são quinadas num dos lados obtendo um formato final idêntico ao de um perfil em L. As barras suporte são utilizadas em cada um dos lados da preguiça, encontrando-se numa posição simétrica, Figura 77 e Figura 78.

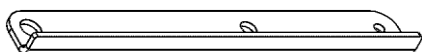


Figura 77 - Perspetiva isométrica “Barra suporte direito preguiça VF”.



Figura 78 - Perspetiva isométrica “Barra suporte esquerda preguiça VF”.

3.3.2.3.3 Parafuso de movimento

Esta peça não é mais que um parafuso com rosca quadrada, que quando lhe é conferido um movimento de rotação no sentido anti horário, tendo este apenas liberdade de rotação, incute um movimento de avanço à peça “Perno D40 190mm preguiça VF” que, por sua vez, o incute diretamente às barras de suporte referidas anteriormente. As barras de suporte transmitem o movimento às restantes peças, fazendo com que a preguiça tenha movimentos ascendentes e descendentes.

Este parafuso foi projetado para ser fabricado a partir de um varão cilíndrico em aço ligado que será filetado por torneamento recorrendo ao fuso do torno e com o tipo de rosca especial utilizado nos parafusos de movimento, também designados por parafusos de potência, Figura 79.

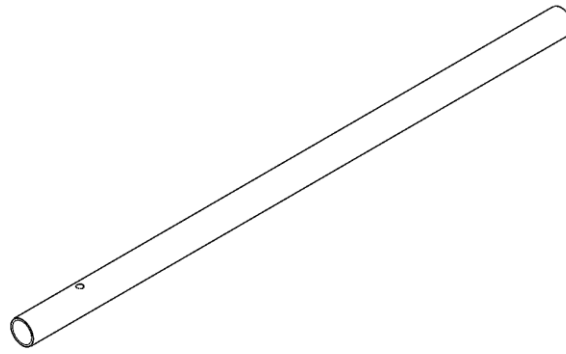


Figura 79 - Perspectiva isométrica "Fuso de força 24mm Preguiça VF".

3.3.2.3.4 Veios

Estes veios deverão ser fabricados em aço ao carbono, a partir de varões cilíndricos que serão torneados até às cotas finais pretendidas e de acordo com o toleranciamento exigido. Como os veios da preguiça serão utilizados como eixos de rotação, são também realizados dois furos cegos e roscados, em cada uma das extremidades, para garantir que o veio se mantém na posição pretendida durante o funcionamento da preguiça.

Para o funcionamento da preguiça são necessários vários veios com diferentes comprimentos e diâmetros, sendo que não existem dois veios iguais, Tabela 6.

Todos os veios são maciços à exceção do que tem 40mm de diâmetro e 190mm de comprimento, este contém um furo roscado com rosca quadrada, Figura 80. Este veio terá especial importância no funcionamento da preguiça, pois é neste veio que o parafuso de movimento transmite o movimento linear com a sua rotação.

Tabela 6 - Dimensões dos veios utilizados na preguiça.

Diâmetro [mm]	Comprimento [mm]
20	60
20	150
20	160
20	190
30	190
40	190

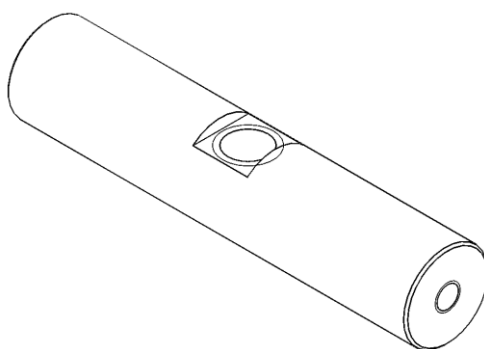


Figura 80 - Perspetiva isométrica "Perno D40 190mm preguiça VF" .

3.3.2.3.5 Casquilhos

Estes casquilhos garantem que exista um espaço entre as várias peças que interagem ente si, diminuindo a superfície de contacto entre as peças, reduzindo assim o atrito entre estas.

Foram desenhados para ser obtidos a partir de tubo de aço sem costura, que será torneado.

Para o funcionamento adequado da preguiça são necessários vários casquilhos de diferentes espessuras, diâmetros internos e externos, Tabela 7:

Tabela 7 - Dimensões dos casquilhos utilizados na preguiça.

Diâmetro externo [mm]	Diâmetro interno [mm]	Espessura [mm]
30	20	5
40	20	5
40	20	10
50	30	25
58	40	5

3.3.2.3.6 Suporte para roletes

O suporte para roletes suporta dois veios que estão ligados a dois roletes, através de um par de rolamentos de esferas, por cada rolete.

Este suporte é constituído por três peças, duas orelhas e uma base. As duas orelhas são iguais e ambas obtidas a partir de chapa de aço laminada a quente e cortada a laser. As duas orelhas são soldadas à base e posteriormente furadas para garantir a coaxialidade dos furos, Figura 81.

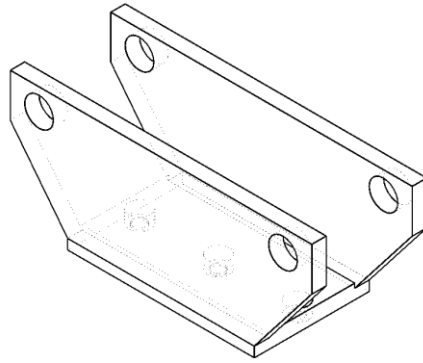


Figura 81 - Perspetiva isométrica “Chassi suporte roletes preguiça M1 VF”.

3.3.2.3.7 *Roletes*

Estes têm como função interagir diretamente com o tubo, passando o peso deste para a restante estrutura de preguiça, estes roletes têm a possibilidade de rotação no sentido transversal do tubo, de forma a rodarem solidários com o tubo, durante a maquinagem do tubo de fibra de vidro produzido na máquina de enrolamento filantar.

O desenho destes foi feito para serem obtidos a partir de um material polimérico, por um processo de torneamento, Figura 82.

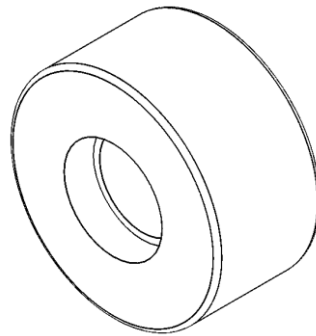


Figura 82 - Perspetiva isométrica "Roleta preguiça VF".

3.3.2.3.8 *Montagem final preguiça*

A montagem deste será dividida em duas partes, sendo estas, a montagem do conjunto “Assembly roletes preguiça”, Figura 83, que fará parte do conjunto “Assembly final preguiça”, Figura 84 (todos os desenhos de definição, e desenhos de conjunto referentes à Preguiça, podem ser consultados no anexo D.4).

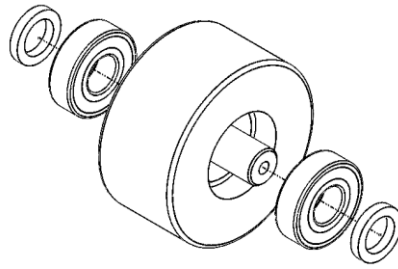


Figura 83 - Perspetiva isométrica explodida "Assembly roletes preguiça".

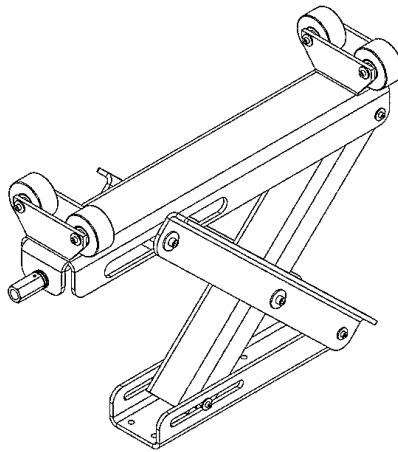


Figura 84 - Perspetiva isométrica " Assembly final preguiça".

3.3.2.4 Carril

Para servir de base a todos os conjuntos referidos anteriormente, recorreu-se a uma solução existente no mercado, uma guia linear da Güdel, modelo TMF-2, esta guia linear é uma guia de grandes dimensões, com possibilidade de suportar vários carros, e com o movimento dos carros automatizado (para mais informações sobre esta guia linear consultar anexo C.2.3).

Os carros que se movem sobre esta guia linear, não são mais do que uma chapa retangular onde são fixos quatro patins, um em cada canto. Estes patins asseguram o movimento linear preciso ao longo da guia. Para movimentar os carros, ao longo da guia, é utilizado um motor elétrico. As chapas para os carros foram redesenhadas, para se adaptarem aos cabeçotes e às preguiças e, também, para se adaptarem ao motor e aos patins fornecidos pela Güdel.

A guia fornecida pela Güdel também terá que sofrer algumas alterações, será necessário fazer uma série de furos para se poder fixar varias secções de um perfil em T,

que será a parte fixa do sistema de travagem do cabeçote móvel. Serão também necessário furos, para fixação das calhas guia, e do apoio lateral. As calhas guias, têm a finalidade de suportar e guiar, as calhas articuladas (para mais informações sobre as calhas articuladas e as calhas guia, consultar anexo C.4).

3.3.2.4.1 Base do carro para cabeçote móvel, cabeçote fixo e preguiça

A base para o cabeçote móvel, o cabeçote fixo e para as preguiças. A furação que será feita na base deverá permitir o encaixe correto com essas partes, alinhando os três componentes da forma pretendida para maquinagem dos tubos em fibra de vidro.

O desenho destas peças foi feito da forma a serem obtidas a partir de chapa em aço laminada a quente, que será cortada a laser, fresada e por fim furada, o resultado final pode ser visto na, Figura 85, Figura 86 e Figura 87.

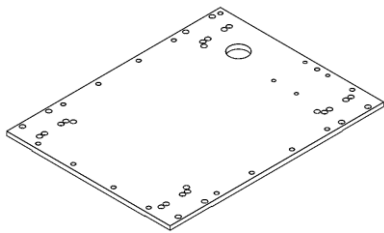


Figura 85 - Perspetiva isométrica "Base carro para CM Carril M2 VF".

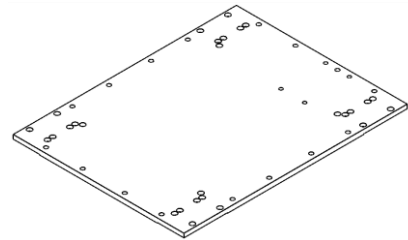


Figura 86 - Perspetiva isométrica "Base carro para CM Carril M2 VF".

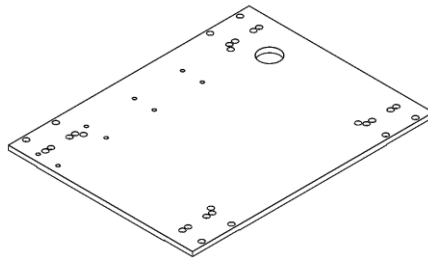


Figura 87 - Perspetiva isométrica "Base carro para preguiça carril M2 VF".

3.3.2.4.2 Apoio patim

Este elemento será montado entre os patins e as bases dos carros, servirá para que a distância entre a base da guia linear e o topo dos carros seja o mesmo, que os fornecidos pela Güdel.

Foram desenhados para ser produzidos a partir de barras retangulares, que serão cortadas, fresadas e por fim furadas, Figura 88.

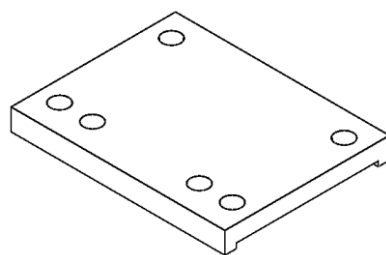


Figura 88 - Perspetiva isométrica "Apoio patim carril M3 VF".

3.3.2.4.3 Bloqueio do cabeçote fixo parte inferior e superior

Os bloqueios são, simplesmente, duas chapas quinadas com um conjunto de furos e rasgos para sua fixação e servem para imobilizar o cabeçote fixo numa extremidade da guia linear. Estas duas componentes desempenham a sua função em conjunto, estando a parte inferior aparafusada à guia linear e a parte superior aparafusada ao carro e ao cabeçote fixo.

O desenho destas peças foi realizado para as produzir a partir de uma chapa em aço laminada a quente, cortada a laser e por fim quinada, Figura 89 e Figura 90.

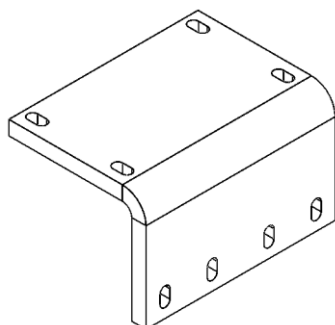


Figura 89 - Perspetiva isométrica "Bloqueio parte inferior do CF carril VF".

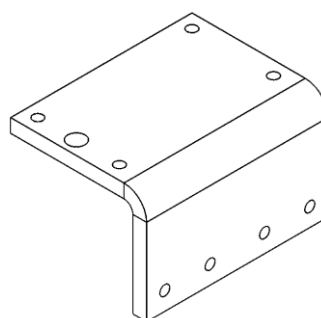


Figura 90 - Perspetiva isométrica "Bloqueio parte superior do CF carril VF".

3.3.2.4.4 Calha suporte das guias articuladas

A calha suporte das guias articuladas tem a função de suportar e guiar a guia articulada que será colocada sobre esta.

O seu desenho foi realizado para ser produzida a partir de chapa em aço laminada a quente, cortada a laser e quinada, Figura 91.

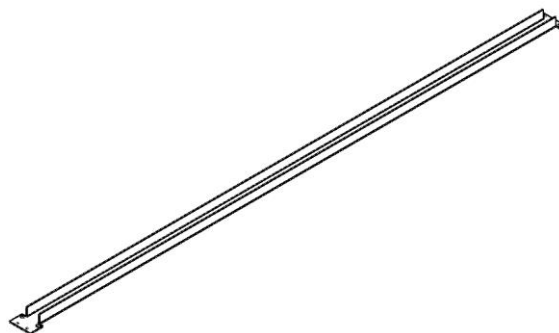


Figura 91 - Perspectiva isométrica "Calha suporte 45mmx2m Carril VF".

3.3.2.4.5 Apoio das calhas articuladas

Este apoio tem como finalidade suportar, a calha suporte e uma calha guia, que por sua vez, serão a base de duas calhas articuladas.

Esta peça foi desenhada para ser obtida a partir de chapa em aço laminada a quente, cortada a laser, e por fim quinada, Figura 92.

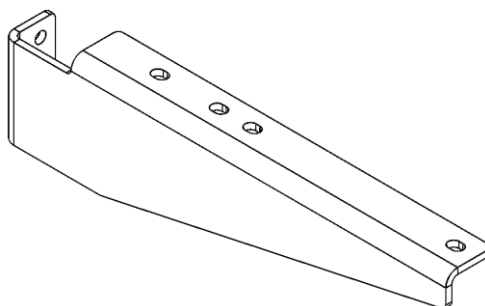


Figura 92 - Perspectiva isométrica "Apoio calhas articuladas carril VF".

3.3.2.4.6 Montagem final carril

Esta montagem foi dividida em quatro partes, sendo que três delas são idênticas pois é a montagem dos três carros, sendo estas denominadas por, “Assembly carro para CM Carril”, “Assembly carro para CM Carril” e “Assembly carro para preguiça Carril”, como se pode ver o exemplo da Figura 93, após montagem destes carros, estes fazem parte da montagem final, “Assembly carril”, assim como as restantes peças referidas anteriormente, Figura 94 (todos os desenhos de definição, e desenhos de conjunto referentes ao carril, podem ser consultados no anexo D.5).

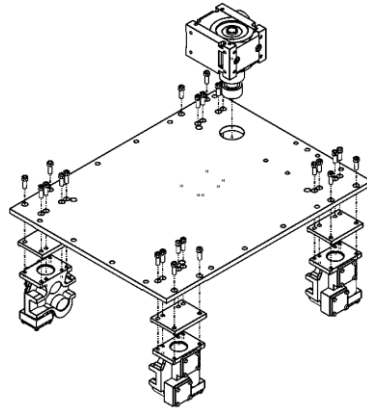


Figura 93 - Perspetiva isométrica "Assembly carro para CM Carril".

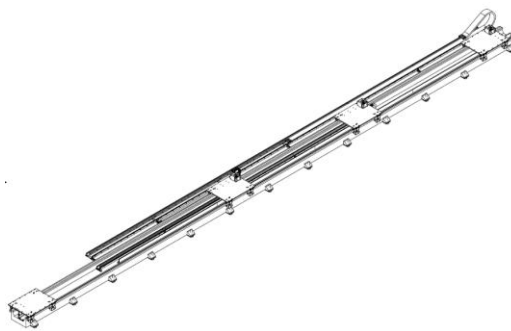


Figura 94 - Perspetiva isométrica "Assembly carril"

3.3.2.5 Montagem final da retificadora de tubos em fibra de vidro

Após montagem separada de todas as componentes referidas anteriormente, pretende-se obter o desenho de conjunto de todos os elementos da máquina pretendida pela Vidropol, Figura 95 (o desenho de conjunto referente à montagem final da retificadora pode ser consultado no anexo D.6).

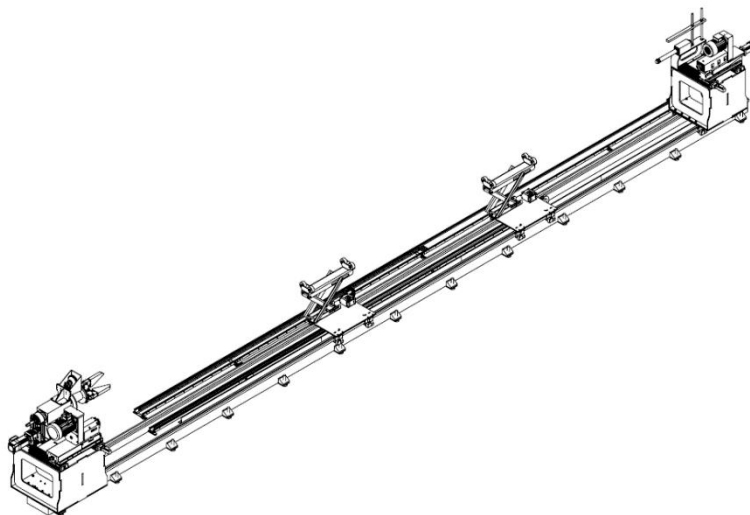


Figura 95 - Perspetiva isométrica da fresadora de fibra de vidro.

3.4 Funcionamento da nova máquina

Neste capítulo, irá, numa primeira parte, ser explicado o funcionamento individual da cada uma das componentes da máquina, para uma melhor compreensão do papel de cada um no modo de operar da retificadora. Na segunda parte deste capítulo, faz-se uma apresentação global do funcionamento da máquina, com a descrição dos passos a seguir para a retificação de um tubo.

3.4.1 Cabeçotes

Ambos os cabeçotes efetuam operações de maquinagem, nomeadamente, o corte dos topos do tubo e a operação de retificação. O cabeçote móvel, Figura 96, para além do corte de um dos topos (abocardado) do tubo realiza também a retificação interior de dois rasgos que serão usados na colocação dos vedantes, para além da maquinagem, tem, também, a função de contraponto. O cabeçote fixo, Figura 97, em contrapartida, corta o outro topo do tubo e retifica a superfície exterior correspondente à largura da mó. O cabeço fixo é, também, o elemento que transmite o movimento de rotação ao tubo através da bucha de fixação.

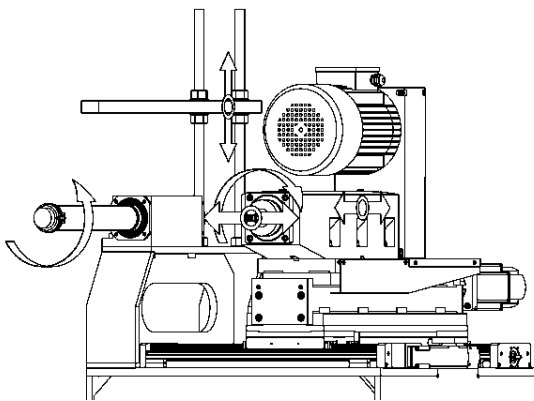


Figura 96 - Indicação das movimentações possíveis do cabeçote móvel.

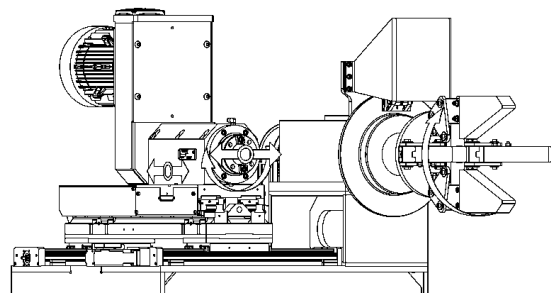


Figura 97 - Indicação das movimentações possíveis do cabeçote fixo.

A grande diferença estrutural entre os cabeçotes é a bucha de fixação incluída no cabeçote fixo, que permite fixar-se ao tubo, rodando solidariamente com este. Assim, o conjunto é impulsionado por um motor elétrico que transmitirá a rotação a uma polia que está fixa no mesmo veio, onde está integrada a bucha de fixação, a partir de uma correia

dentada HTD (cálculos para escolha da correia anexo B.1). Esta, está solidária com o tubo que rodará o veio contra ponto do cabeçote móvel.

A bucha de fixação converte os movimentos de avanço ou recuo que lhe são transmitidos, num movimento transversal. Os movimentos de avanço e recuo são transmitidos à bucha de fixação, através da rotação de um parafuso de movimento. Quando é transmitido um movimento de avanço à bucha de fixação, esta abre, fixando-se ao tubo, Figura 98. Quando é feito um o movimento de recuo na bucha de fixação, o tubo é libertado, Figura 99. Visto que o curso da bucha de fixação é de sensivelmente 30mm, como já referido anteriormente, é necessário recorrer-se ao conjunto de dentes, para que seja possível fixar todos os diâmetros pretendidos.

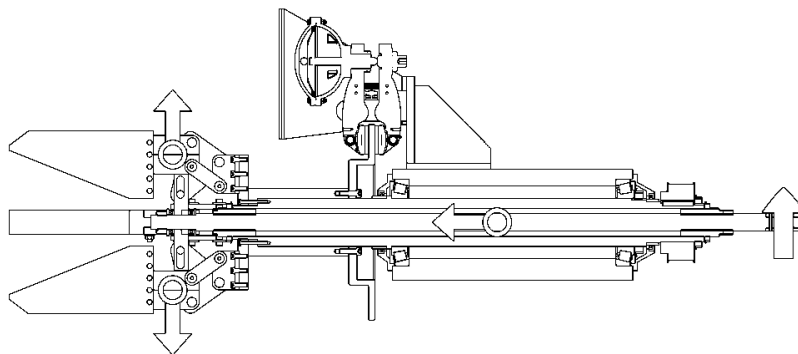


Figura 98 - Indicação das movimentações de abertura da bucha de fixação (posição inicial).

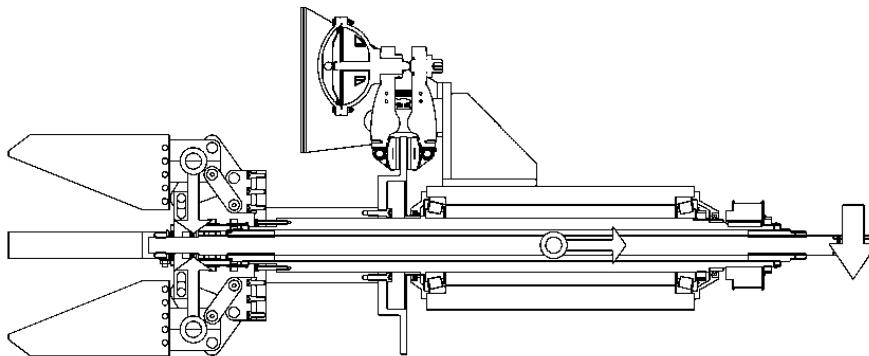


Figura 99 - Indicação das movimentações de fecho da bucha de fixação (posição final).

Sendo o objetivo de ambos os cabeçotes retificar tubos em fibra de vidro, estes têm uma diferença a nível de funcionamento da maquinagem dos tubos. O cabeçote móvel executa uma retificação interna e corte do tubo, em simultâneo, fazendo um movimento de recuo. Quer isto dizer, que para maquinar o tubo, inicialmente o CM encontra-se o mais próximo possível do eixo do tubo, sendo esta a sua posição inicial, Figura 100, e posteriormente recua, fazendo um movimento de dentro para fora. O cabeçote móvel faz

exatamente o contrário, faz uma retificação externa e corte em simultâneo, com um movimento de penetração, sendo o seu ponto inicial o mais afastado possível da bucha de fixação, Figura 101.

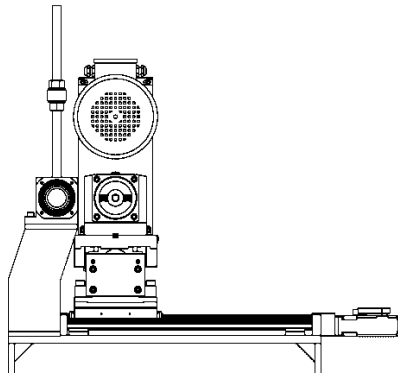


Figura 100 - Posição inicial do cabeçote móvel.

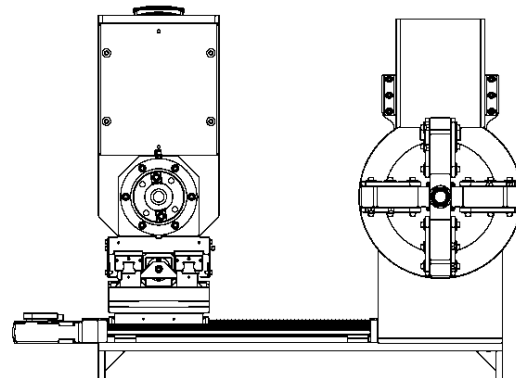


Figura 101 - Posição inicial cabeçote fixo.

3.4.2 Preguiça

Este dispositivo tem a possibilidade de ajuste de altura, atuando como apoio simples, de forma a evitar a flexão dos tubos durante a maquinação.

Esse ajuste é feito através da rotação de um parafuso de movimento, tendo este apenas liberdade de rotação, obriga o veio a que está ligado, a fazer um movimento linear, fazendo assim com que toda a estrutura se mova, de forma ascendente, Figura 102, e descendente, Figura 103.

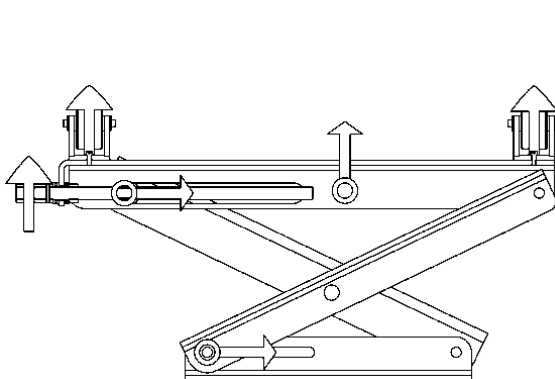


Figura 102 - Indicação da movimentação ascendente da preguiça (altura mínima), e movimentos possíveis.

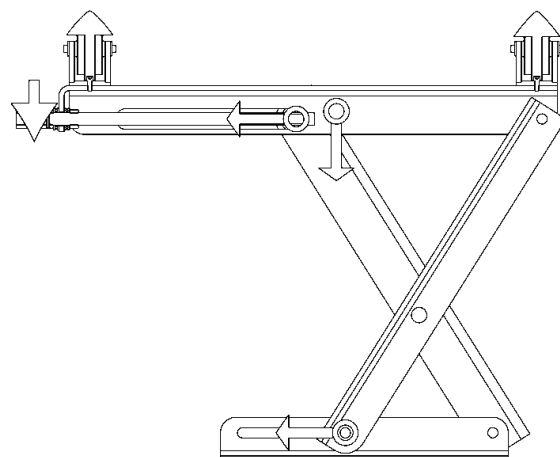


Figura 103 - Indicação da movimentação descendente da preguiça (altura máxima), e movimentos possíveis.

3.4.3 Carril

O funcionamento deste já foi explicado anteriormente, pois o carril, não é mais que uma guia linear, que permite suportar vários carros, permitindo um movimento linear ao longo desta, que servirá de base a toda a máquina.

Contudo, por imposição de projeto, os carros que suportam as preguiças estão limitados a deslocarem-se num espaço confinado em relação ao cabeçote fixo. Sendo possível compreender melhor a deslocação máxima para cada carro observando a Figura 104. Esta limitação deve-se ao facto da flexão dos tubos ocorrer a meio do comprimento do tubo, logo, calculou-se o espaçamento entre os quatro carros para o tubo de comprimento máximo 12m. Sendo que, os dois carros que suportam as preguiças percorrem percursos diferentes, um percorre cerca de 4m e o outro 8m.



Figura 104 - Distância máxima alcançável por cada carro no carril, em relação ao cabeçote móvel.

3.4.4 Processo de maquinagem de um tubo na nova máquina

De seguida será descrito o processo de maquinagem, para um tubo com diâmetro de 400mm e 6m de comprimento. Este processo de maquinagem, é para o mesmo tubo do qual se descreveu o processo para a máquina existente. Sendo o processo muito idêntico, pois a máquina, a nível de funções, teve poucas evoluções. As principais evoluções foram a nível estrutural, sendo a máquina projetada neste trabalho mais robusta e tem um maior nível de automatização, facilitando ao operador todo o processo de maquinagem. Estas melhorias permitem obter peças com menos defeitos, consequentemente ganhos na qualidade do produto final e um aumento de produtividade. O processo de maquinagem para o tubo referido anteriormente é o seguinte:

1. Afasta-se o CM aproximadamente 8m do CF.
2. As ferramentas de maquinagem, de ambos os cabeçotes, são colocadas na posição inicial.
3. Colocam-se as mós e os discos de corte, nas unidades de maquinagem (este passo normalmente deve ser saltado pois como só existe uma mó e um disco de corte,

para cada cabeçote, após maquinagem não é necessário retirá-las, ficando prontas para a próxima maquinagem).

4. Colocam-se os quatro dentes de fixação, correspondentes a diâmetros entre os 400-500mm, na bucha de fixação, na posição mínima.
5. Fecha-se a bucha de fixação.
6. Coloca-se o disco para tubos de 400mm no veio contraponto do CM.
7. Posiciona-se o suporte de apra a uma altura de aproximadamente 150mm, do eixo de revolução.
8. Colocam-se as preguiças, na altura correspondente ao diâmetro do tubo.
9. Através de um guindaste coloca-se o tubo ente os dois cabeçotes.
10. Alinha-se a extremidade do abocardado com o disco colocado no CM, e a outra extremidade com a bucha de fixação, presente no CF.
11. Faz-se o movimento de avanço do CM, que após o disco bater no estreitamento do abocardado obriga a outra extremidade do tubo a entrar na BF do CF.
12. Após a entrada da BF no tubo, é acionado o sistema de abertura da BF, de forma manual pelo operador, quando este achar que o tubo está bem fixo, deve utilizar a contra porca, para fixar o veio na posição em que se encontra.
13. Confere-se uma última vez a altura das preguiças, ajustando-se novamente se necessário.
14. Aciona-se o motor que está ligado à bucha de fixação no CF, conferindo rotação ao tubo.
15. Posiciona-se a ferramenta do CF em relação ao tudo.
16. Aciona-se o movimento de rotação da ferramenta do CF.
17. Faz-se um movimento de penetração da ferramenta de maquinagem existente no CF, retificando o tubo no seu exterior de forma paralela ao eixo longitudinal, e simultaneamente cortando-o transversalmente.
18. Efetuar o recuo da feramente da maquinagem do CF, para o ponto inicial.
19. Desligar a rotação da ferramenta do CF.
20. Posiciona-se a ferramenta do CM em relação ao tudo.
21. Aciona-se o movimento de rotação da ferramenta do CM
22. Faz-se um movimento de recuo da ferramenta de maquinagem existente no CM, retificando o tubo no seu interior de forma paralela ao eixo longitudinal, e simultaneamente cortando-o transversalmente.
23. Efetuar o recuo da feramente da maquinagem do CM, para o ponto inicial.

24. Desliga-se a rotação da ferramenta do CM.
25. Desliga-se o motor que movimenta o tubo.
26. Liberta-se a bucha de fixação.
27. Está completo o processo de maquinagem é só retirar o tubo da máquina.

Todo este processo parece muito idêntico ao processo, descrito para o mesmo tubo na retificadora antiga, mas possivelmente e de forma a aproveitar os automatismos presentes nesta a maquinagem é possível que seja feita em simultâneo em ambos os cabeçotes de forma autónoma, como entre outras melhorias significativas a nível de automação.

Capítulo 4

4 Conclusão e trabalhos futuros

4.1 Conclusão

Após terminado o projeto, pode concluir-se que o conhecimento do funcionamento do equipamento existente, com a visita às instalações da Vidropol, foi preponderante para se ter uma boa base para o novo projeto. Não menos importante, foi também a análise dos desenhos da máquina existente permitindo o redimensionamento da nova retificadora de forma mais rápida, reduzindo assim o tempo de projeto.

A realização de alguns esboços, durante o projeto, permitiu a apresentação de soluções e discussão das mesmas. Com essas discussões foi possível chegar-se a uma decisão final, para cada solução apresentada, que passaria a ser desenhada de forma tridimensional.

Durante a parte de desenho tridimensional, é possível, perceber todo o funcionamento e interação entre os diferentes componentes, de forma a poder-se solucionar facilmente qualquer incompatibilidade. É fundamental ter um conhecimento profundo dos diferentes processos de fabrico utilizados na produção das diferentes peças da máquina. Com base nesses conhecimentos é possível selecionar os processos mais adequados e simplificar etapas de fabrico, bem como, encontrar soluções que permitam evitar incompatibilidades na montagem final da máquina.

Com o desenho tridimensional concluído, chega a hora de fazer os desenhos de definição de todas as peças a serem fabricadas. Esta etapa é de elevada responsabilidade, pois é necessário ter em conta os toleranciamentos para garantir a precisão dimensional de projeto. Para demonstração da interação e montagem das peças, os desenhos de conjunto, têm que ser explícitos, sendo a partir destes, possível desfazer qualquer ambiguidade na hora montagem.

4.2 Trabalhos futuros

Fazer a otimização através de um *software* CAE da nova máquina de forma cronometrada, quer isto dizer após dominar o software de otimização CAE, cronometrar o tempo que a otimização e a reformulação dos desenhos demorará a fazer, de forma a poder comparar os custos da mão-de-obra para otimização da máquina e os custos excessivos da máquina subdimensionada.

Fazer também a programação da automação de toda a máquina, podendo até mesmo automatizar, a abertura e fecho da bucha de fixação, e a regulação da altura das preguiças, ficando assim a máquina completamente automatizada.

5 Bibliografia

- [1] Ashby, Michael F., “Materials Selection in Mechanical Design”, Second Edition, Published by Pergamon Press, Oxford, 1999.
- [2] M. F. S. F. de Moura, A. B. de Morais, A. G. Magalhães, “MATERIAIS COMPÓSITOS – Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico”. Publindústria, Edições Técnicas, ISBN 978-972-8953-00-3, 369 páginas, 2011.
- [3] http://www.nuplex.com/composites/NuplexComposites/media/Composites-Image-Library/Images%20-%20Processes/Process_filamentwinding.jpg, consultado em 25/nov/15
- [4] Branco, C M, Ferreira, J M, da Costa, J, Ribeiro, A S, “Projecto de órgãos de máquinas”, Fundação Calouste Gulbenkian, 3ª ed., 2012
- [5] http://www.suhner.com/domains/suhner_com/data/free_docs/SomexKat09low.pdf, consultado em 25/nov/15
- [6] http://www.sdp-si.com/estore/coverpg/LinearMotion/Heavy_Duty_Size_40_Carriage.jpg, consultado em 25/nov/15
- [7] http://i00.i.aliimg.com/wsphoto/v0/32222650556_4/XH-25-SP-MG-L1400-Linear-Guide-Rail-with-Precision-Ball-Screw-Drive.jpg, consultado em 25/nov/15
- [8] http://www.mectrol.com.br/upload/projeto/produtos/industrial_robots/montagem-x-y.png, consultado em 25/nov/15
- [9] Simões Morais, J. Desenho Técnico Básico. 23ª edição Porto Editora Lda, 2007.

ANEXOS

(Estes encontram-se no CD colocado na contra capa)