

Desenvolvimento de unidade laboratorial de obtenção
de códigos IP segundo a norma ISO 20653:2013
(teste contra água)



Filipe Lusio Ferreira

Desenvolvimento de unidade laboratorial de obtenção
de códigos IP segundo a norma ISO 20653:2013
(teste contra água)

Projeto de Mestrado

Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Professor Serafim Paulo Melo de Oliveira

Professor José Manuel Neto Salgueiro Marques



Dezembro de 2018

Dedicatória

Aos meus pais, às minhas irmãs
e a minha namorada Ana Filipa, que
sempre me apoiaram em todo o meu trajeto

“Se, a princípio, a ideia não é absurda, então não há esperança para ela.”

Albert Einstein

RESUMO

O índice de proteção a componentes elétricos e eletrônicos de veículos motorizados é uma exigência regulamentada pela norma ISO 20653:2013 (Veículos rodoviários – Grau de proteção (código IP) – proteção de equipamentos elétricos contra acesso a objetos estranhos e a água). Para a proteção contra a água, a norma define um largo conjunto de ensaios que engloba a impermeabilidade a pequenos salpicos até à impermeabilidade a jactos de elevada pressão, assim temos testes contra:

- Queda de gotas de água vertical (IPx1 e IPx2);
- Salpico e spray de água (IPx3, IPx4e IPx4K);
- Alto caudal de água (IPx5, IPx6, IPx6K);
- Alta pressão de água/vapor (IPx9K).

Devido à dificuldade em realizar todos estes ensaios num único equipamento, houve a necessidade de desenvolver uma unidade laboratorial automatizada capaz de avaliar a estanquidade dos componentes automóveis e fornecer um Índice de Proteção (IP) de equipamentos eletrônicos contra água seguindo a norma ISO 20653:2013.

Essa unidade foi desenhada em termos estruturais e todos os componentes foram selecionados com base em métodos de cálculo que garantam a sua fiabilidade. De entre os componentes foram selecionados os motores elétricos – utilizados para a movimentação linear e rotacional dos diversos componentes; os acoplamentos – utilizados para a conexão dos diversos sistemas/motores; os rolamentos e chumaceiras – utilizados para o suporte das partes em movimento de rotação; as correias sincronizadoras – utilizadas para a movimentação controlada ao longo de todo o ensaio; os fusos roscados – utilizados na conversão do movimento rotacional de um motor, em movimento de translação e as electroválvulas – utilizadas para o controlo do fluido.

Atendendo às grandes diferenças em termos de execução dos ensaios descritos na norma ISO 20653:2013, houve a necessidade de criar uma plataforma de posicionamento de amostras permitindo que cada uma seja movimentada para a sua posição de ensaio convenientemente.

Para cada tipo de ensaio foram encontradas diferentes soluções, sendo que para os ensaios IPx1 e IPx2 é utilizada uma “caixa de chuva” posicionada no final do deslocamento horizontal e as amostras serão posicionadas debaixo da “caixa de chuva” de acordo com os parâmetros da norma;

Nos ensaios IPx3, IPx4 e IPx4k são utilizados arcos, raios de 200, 400, 600 e 800 mm com orifícios de diâmetros de 0,4 e 0,8 mm, que rodam em torno da amostra com uma amplitude entre $\pm 90^\circ$ e $\pm 180^\circ$ com a vertical. Nestes ensaios, as amostras são pulverizadas de acordo com a pressão, diâmetro e amplitude de abertura dos orifícios.

Devido ao elevado número de variáveis foi encontrada uma solução que agrupa, para cada arco, os 3 tipos de ensaio. Esse agrupamento foi possível devido à utilização de dois arcos soldados lado a lado e divididos de forma a obter a abertura correta dos bicos;

A avaliação do comportamento das amostras a um elevado caudal (máximo de 100 l/min), ensaios IPx5, IPx6 e IPx6k, foi conseguido usando duas ponteiros diferentes a uma distância de 2,5 a 3 m da amostra para a formação de um jato de água.

A resistência a elevadas pressões, ensaio IPx9k, é testada em 4 posições durante 30 segundos usando um jacto de água à pressão de 100 bar e temperatura de 80°C.

À parte da automatização dos ensaios, foi implementado um sistema fechado de recuperação de água, tornando o equipamento mais ecológico e reduzindo os custos de operação.

Como forma de verificação do projeto, foram realizadas provas sem amostras, de forma a verificar os valores de caudal e pressão previstos na norma. Após todas as verificações, foram realizados testes solicitados por clientes para os ensaios: IPx2, IPx5 e IPx6k.

Embora este laboratório seja projetado para a realização de ensaios a componentes automóveis, poderá ser utilizado no teste de componentes de outras áreas à semelhança dos testes já realizados em componentes de bicicletas solicitados por clientes.

O sucesso dos ensaios já realizados garantem a continuidade e utilidade deste projeto no apoio ao cumprimento da norma ISO 20653:2013 e asseguram uma importante quota de mercado para o ISQ.

PALAVRAS CHAVE:

Índice de proteção (IP)

Norma ISO 20653:2013

Unidade laboratorial automatizada

Indústria automóvel

IPx1; IPx2; IPx3; IPx4; IPx4K; IPx5;

IPx6; IPx6K; IPx7; IPx8; IPx9K

ABSTRACT

The index of protection for electric and electronic components of motor vehicles is a requirement regulated by ISO 20653: 2013 standard (Road Vehicles - Degree of protection (IP code) - protection of electrical equipment against access to foreign objects and water). For the protection against water, the standard defines a wide range of tests that includes the impermeability to small splashes to the impermeability to high pressure jets, thus the tests are:

- Drop of vertical water droplets (IPx1 and IPx2);
- Splash and water spray (IPx3, IPx4 and IPx4K);
- High water flow (IPx5, IPx6, IPx6K);
- High water/steam pressure (IPx9K).

Due to the difficulty in carrying out all these tests in a single equipment, it was necessary to develop an automated laboratory unit able to evaluate the leak tightness of the automotive components and to provide an Index of Protection (IP) of electronic equipment against water following ISO 20653: 2013 standard.

This unit was designed in structural terms and all components were selected based on calculation methods that guarantee their reliability. Among the components, electric motors were selected to perform the linear and rotational movement of the various components; the couplings were used for connecting the various systems/motors; bearings are used to support the rotating parts; synchronizing belts controls handling throughout the test; the threaded screws were used to convert the rotational movement of the motor to the translation movement and the solenoid valves were used for the control of the fluid.

The differences among tests described in ISO 20653: 2013 induced to create a sample positioning platform allowing each sample to be moved to its test position conveniently.

For the IPx1 and IPx2 tests it was created a "rain box" positioned at the end of the horizontal displacement and the samples will be moved under the "rain box" according to the parameters of the standard.

In the IPx3, IPx4 and IPx4k tests it was projected metallic arcs, rays of 200, 400, 600 and 800 mm with small tips of 0.4 and 0.8 mm of diameters. The arcs rotate around the sample in the range $\pm 90^\circ$ and $\pm 180^\circ$ to the vertical. In these tests, the samples are sprayed according to the pressure, diameter and opening width of the tips.

Due to the high number of variables, the three types of tests were grouped for each arc. This grouping was possible due to the use of two welded arcs side by side and divided in order to obtain the correct opening of the nozzles;

The evaluation of the behavior of the samples at a high flow rate (maximum of 100 l/min), IPx5, IPx6 and IPx6k tests, was achieved using two different big tips at a distance of 2.5 to 3m from the sample forming a waterjet.

The high pressure resistance, IPx9k test, is tested at 4 positions for 30 seconds using a waterjet at 100 bar pressure and 80 °C of temperature.

Apart from the automation of the tests, a closed water recovery system was implemented, making the equipment more environmentally friendly and reducing operating costs.

After components assembling, whole equipment was tested without samples in order to verify the values of flow and pressure defined in the standard. Finally, samples from customers were tested for the IPx2, IPx5 and IPx6k assays.

Although this laboratory is designed for automobile component testing, it can be used for testing other components like the tests already performed on cycling components ordered by customers.

The success of the tests already carried out ensures the continuity and usefulness of this project in support of compliance with the ISO 20653: 2013 standard and ensure an important market for ISQ.

KEY WORDS

Protection Index (IP)

ISO 20653:2013 standard

Automated laboratory unit

Automobile industry

IPx1; IPx2; IPx3; IPx4; IPx4K; IPx5;

IPx6; IPx6K; IPx7; IPx8; IPx9K

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer a todos os intervenientes que direta ou indiretamente contribuíram na criação deste projeto, a todos os professores que ao longo do meu percurso académico me capacitaram de diversas ferramentas importantes, que sem elas não seria certamente possível fazer este projeto.

Gostava de agradecer ao Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ) especialmente ao responsável da delegação de Vila Nova de Cerveira, André Gameiro Mendes, por ter acreditado nas minhas capacidades e dar oportunidade de colocar em prática as minhas ideias.

Não posso deixar de agradecer ao colega Angel Gonzalez por me disponibilizar parte do seu tempo a ajudar-me com a sua experiência ao longo do seu percurso profissional.

Ao orientador professor Serafim Paulo Melo de Oliveira e ao coorientador professor José Manuel Salgueiro Marques gostava de agradecer pela ajuda na realização deste projeto, sempre estiveram disponíveis para o que fosse necessário.

Um especial agradecimento aos meus pais e irmãs, que sempre me apoiaram e nunca me deixaram não seguir os meus sonhos, possibilitando-me sempre as melhores condições possíveis para que pudesse seguir em frente.

À minha namorada Ana Filipa Salgueirinho que esteve sempre presente, permitindo ultrapassar todas as dificuldades de forma mais fácil, apoiando-me e ajudando-me em tudo.

A todos, um muito obrigado.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Estrutura do Projeto	2
2. Estado Da Arte.....	4
2.1 Enquadramento Teórico	4
2.1.1 Norma IEC 60529.....	4
2.1.2 Norma ISO 12103-1.....	5
2.1.3 Norma IEC 6008.....	6
2.1.4 Norma ISO 20653:2013.....	7
2.1.5 Dimensionamento mecânico	11
2.1.6 Seleção de motores	14
2.1.7 Seleção de acoplamentos.....	18
2.1.8 Verificação de rolamentos e chumaceiras	19
2.1.9 Seleção de correias sincronizadoras	21
2.1.10 Seleção fuso roscado e porca.....	23
2.1.11 Seleção de electroválvulas	23
3. Dimensionamento	25
3.1 Considerações iniciais e metodologia de projeto	25
3.2 Estrutura	25
3.3 Sistemas mecânicos	26
3.3.1 Arcos.....	26
3.3.2 Movimento Horizontal.....	38
3.3.3 Movimento Vertical.....	48
3.3.4 Rotação da Mesa.....	59
3.3.5 Jato.....	66

3.4	Sistema Hidráulico.....	70
3.4.1	Sistema de baixa pressão.....	71
3.4.2	Controlo de ensaios e IPx2.....	74
3.4.3	Sistema de alta pressão IPx9k	76
3.4.4	Recuperação de água (Filtros e bomba)	77
3.4.5	Seleção de condutas	78
4.	Requisitos para controlo	79
4.1	Etapas requeridas para cada ensaio	79
4.2	Funcionamento dos ensaios	80
4.2.1	Pré-ensaio	80
4.2.2	Ensaio IPx1.....	80
4.2.3	Ensaio IPx2.....	81
4.2.4	Ensaio IPx3/IPx4/IPx4K	82
4.2.5	Ensaio IPx5/IPx6/IPx6k	83
4.2.6	Ensaio IPx7/IPx8	84
4.2.7	Ensaio IPx9k.....	84
5.	Construção	86
6.	Ensaio realizados	89
6.1	Ensaio IPx2.....	89
6.2	Ensaio IPx5 e IPx6K	91
6.3	Resultado dos ensaios	92
6.3.1	Ensaio IPx2.....	93
6.3.2	Ensaio IPx5.....	93
6.3.3	Ensaio IPx6k.....	93
7.	Conclusão	95
8.	Bibliografia	97
9.	Anexos.....	100
	Anexo 1 – Especificações físicas para os ensaios queda vertical IPx1 e IPx2	101
	Anexo 2 – Especificações para os ensaios automatizados de IPx3, IPx4 e IPx4K	102
	Anexo 3 – Especificações para os ensaios IPx3 e IPx4 processo manual	103
	Anexo 4 – Especificações ensaios IPx5, IPx6 e IPx6k	104
	Anexo 5 – Especificações para ensaio IPx9K	105

Anexo 6 - Informações de características necessárias para cada tipo de ensaio.	106
Anexo 7 – Tabela para escolha de acoplamentos	108
Anexo 8 - Tabela de seleção do tipo de correia.....	110
Anexo 9 - Escolha do método de tensionamento de correia sincronizadora.....	111
Anexo 10 – Laboratório IPs	112
Anexo 11 - Desenho dos arcos	113
Anexo 12 – Dados geométricos	118
Anexo 13 – Cotagem dos suportes de motor dos arcos	120
Anexo 14 – Seleção das guias lineares horizontais	123
Anexo 15 – Sistema servo motor horizontal	125
Anexo 16 – Seleção rolamento da correia.....	126
Anexo 17 – Componente movimento horizontal.....	130
Anexo 18 – Seleção das guias lineares verticais	134
Anexo 19 – Componentes do movimento vertical	136
Anexo 20 – Sistema de rotação de mesa.....	143
Anexo 21 – Mesas de ensaios.....	146
Anexo 22 – Sistema de jato direcional ensaio IPx9k.....	150
Anexo 23 – Sistema Hidrocontrol 2000.....	154
Anexo 24 – Redutores de pressão Parker.....	155
Anexo 25 – Caudalímetros.....	156
Anexo 26 – Micro filtro	173
Anexo 27 – Transdutores de pressão	175
Anexo 28 – Máquina de alta pressão Karcher.....	185
Anexo 29 – Curva característica bomba Sterwins 500W.....	187
Anexo 30 – Esquema de circuito de controlo de água.....	188
Anexo 31 – Lista de material.....	189

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Apresentação e explicação do código IP23CH.	4
Figura 2: Grau de IP de invólucros de materiais elétricos segundo a norma IEC 60529.	5
Figura 3: Nomenclatura para grau de proteção segundo a norma ISO 20653:2013.	8
Figura 4: Expressões para cálculo das inércias	14
Figura 5: Diferentes formas de cálculo de torque de carga (T_L)	15
Figura 6: Perfil de velocidades pretendido para os movimentos.....	15
Figura 7: Acoplamento para veios da marca GERWAH	18
Figura 8: Abacos para obtenção da viscosidade dos rolamentos.	20
Figura 9: Abaco para obtenção do valor de a_{23}	21
Figura 10: Exemplos de fusos e porcas	23
Figura 11: Electroválvula para controlo de fluido	23
Figura 12: Máquina de ensaios de IP.....	25
Figura 13: Exemplo perfil alumínio da empresa Motedis	25
Figura 14: Tipo de perfis utilizados e suas características mecânicas	26
Figura 15: Representação para realização dos ensaios IPx3, IPx4 e IPx4K	26
Figura 16: Informação relativa ao arco 800.	27
Figura 17: Diagrama de esforços para os arcos.....	28
Figura 18: Resultados da simulação através do método de elementos finitos.	29
Figura 19: Gráfico de tensões para o carregamento dinâmico.	30
Figura 20: Representação simplificada do cálculo de T_L para os arcos.....	32
Figura 21: Verificação da seleção do motor AP8918L9504-E.	34
Figura 22: Suportes para motores e caixas reductoras de movimento dos arcos.....	38
Figura 23: Movimentação horizontal.....	38
Figura 24: Estrutura de movimento vertical.....	49
Figura 25: Diagrama simplificado de forças no movimento vertical.	50
Figura 26: Esquema o sistema de movimentação vertical	57
Figura 27: Sistema de rotação de mesas.	60
Figura 28: Veio de rotação das mesas de amostras.	63
Figura 29: Sistema de jato direcional..	67
Figura 30: Esquema do circuito de baixa pressão.	71
Figura 31: Sistema de caixa de chuva para ensaios IPx1 e IPx2.....	75
Figura 32: Esquema de controlo de altura de líquido para ensaios IPx1 e IPx2.	75
Figura 33: Válvula controlada por boia.	76
Figura 34: Sensor On\Off de controlo de nível.	76
Figura 35: Máquina de alta pressão, modelo HDS 10/20-4M	76
Figura 36: Representação do circuito de recuperação de água.	77
Figura 37: Bomba submersível com boia.	77
Figura 38: Tubo hidráulico	78

Figura 39: Tubo serie TU	78
Figura 40: Identificação da posição inicial.	80
Figura 41: Esquema para cálculo da altura vertical.....	81
Figura 42: Estrutura principal.....	86
Figura 43: Arcos para ensaios IPx3, IPx4 e IPx4k.	87
Figura 44: Detalhe da aplicação dos bicos de 0,4 e 0,8 mm nos arcos.....	88
Figura 45: Sistema de depósitos para recuperação de água.	88
Figura 46 : Ajuste da altura da amostra.	90
Figura 47: Sistema atuação de amostra.....	90
Figura 48: Posições de ensaio.	91
Figura 49: Fotos do ensaio IPx5 e IPx6.	92
Figura 50: Foto em detalhe da amostra B no ensaio IPx2.	93
Figura 51: Exemplo de amostra tipo B depois do ensaio IPx5.	93
Figura 52: Amostras tipo “A” depois do ensaio IPx6k,.....	94
Figura 53: Amostra tipo “B” desintegrada depois do ensaio IPx6k.	94

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Devido à evolução permanente da indústria automóvel, foram-se, ao longo da sua evolução, agrupando sistemas eletrónicos para o seu controlo.

Atualmente quase tudo num automóvel é controlado ou monitorizado eletronicamente, como por exemplo os sistemas de segurança ativa e passiva, sistemas de controlo do motor, sistemas de conforto, etc.

Perante essa evolução e pelo surgimento de mais sistemas de carros elétricos, pode-se concluir que cada vez o mundo automóvel está mais dependente de sistemas eletrónicos.

Com a utilização desses sistemas, apareceu a necessidade de se regulamentarem características de resistência à entrada de conteúdos externos para módulos eletrónicos. Essa necessidade levou à criação de normas específicas para os componentes eletrónicos aplicados em veículos.

A norma que atualmente regula estes componentes é a ISO 20653:2013, nesta norma são classificados 3 tipos de penetração de corpos estranhos em componentes eletrónicos, sendo eles:

- Utensílios estranhos;
- Poeiras;
- Água.

Perante esta norma, foi-me apresentado por parte do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ) o desafio de criar algo inovador e que tornasse este tipo de ensaios mais rentáveis.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa sobre todo o tipo de unidades laboratoriais encontradas no mercado, onde se observou que não existe até à data nenhuma, num formato móvel, que permita a realização de todos os tipos de ensaio.

Perante essa realidade, foram criadas soluções para uma unidade completamente automatizada, que permitisse a redução dos tempos de preparação das amostras e com isso redução de custos.

Foi tida em conta a necessidade de criação de um sistema de recuperação de água que, devido à utilização de um elevado volume de água, irá reduzir consideravelmente os custos por ensaio.

No decorrer deste projeto serão abordadas as soluções encontradas, de salientar as seguintes características:

- Criação de um sistema de arcos que permite a realização dos ensaios IPx3, IPx4 e IPx4k de uma forma compacta e automatizada, completamente inovadora;
- Realização do ensaio IPx9k apenas com um bico injetor;
- Realização e monitorização de todos os ensaios apenas numa unidade laboratorial móvel.

1. INTRODUÇÃO

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo utilizar a norma ISO 20653:2013 como base do desenvolvimento de uma unidade laboratorial, automatizada, apta para a realização de testes a componentes elétricos.

A unidade laboratorial terá como grande objetivo a realização de ensaios para componentes de automóveis, no entanto poderá também satisfazer as características para a realização de ensaios a qualquer outro tipo de produto.

Pretende-se poder realizar neste projeto os ensaios: IPx1, IPx2, IPx3, IPx4, IPx4k, IPx5, IPx6, IPx6k, IPx7, IPx8 e IPx9k.

1.3 Estrutura do Projeto

No capítulo 2 é exposta a importância da realização deste tipo de ensaios a equipamentos eletrónicos. É feita uma abordagem identificando as normas que originaram a norma ISO 20653:2013, tais como:

- **IEC 60529:** esta norma surgiu em 1989, permitiu a classificação à resistência de penetração de objetos externos (objetos finos, pó ou água). Esta norma é vocacionada apenas para componentes elétricos e eletrónicos;
- **ISO 12103-1:** esta norma é vocacionada para a resistência a poeiras e é aplicada a filtros de ar. Permite definir os tipos de poeiras utilizadas nos ensaios de proteção de pó;
- **IEC 6008:** é uma coletânea de métodos para a realização de ensaios ambientais descrevendo os diversos grupos de estudo;

De seguida são apresentadas as metodologias utilizadas para a seleção dos diversos componentes utilizados, tais como: motores elétricos; acoplamentos; rolamentos; chumaceiras; correias sincronizadoras; electroválvulas; fusos.

No capítulo 3 são descritos os cálculos e os resultados obtidos e apresentados os componentes selecionados.

Este capítulo, está dividido em quatro partes onde se pretende diferenciar as distintas partes do projeto, inicialmente aplicam-se as metodologias para a seleção da estrutura e de seguida a seleção do sistema hídrico.

Dentro dos sistemas hídricos existem várias divisões tais como:

-Sistema de baixa pressão - este sistema é utilizado para a alimentação e controlo dos ensaios a pressões iguais ou inferiores a 10 bar, consiste essencialmente na colocação de uma bomba de alto caudal que coloca água a uma pressão de 10 bar sendo essa distribuída e reduzida para a pressão indicada para cada tipo de ensaio;

-Controlo de nível do depósito de chuvas ensaios IPx1 e IPx2 – consiste na alimentação de água de forma a controlar o nível do depósito da caixa de chuva, permitindo a realização dos ensaios IPx1 e IPx2;

-Sistema de alta pressão – a utilização deste sistema é necessária para a realização do ensaio IPx9k onde é requerida uma pressão de alimentação na ordem dos 100bar e uma temperatura de 80°C;

-Recuperação e tratamento de água – de forma a permitir o menor desperdício de água criou-se um sistema fechado de recuperação de água e respetivo tratamento, que permite a reutilização da mesma água para diversos ensaios;

No capítulo 4 são abordados os requisitos para a realização da programação de todo o sistema, descrevendo-se o tipo de funcionamento pretendido para cada tipo de ensaio.

De seguida no capítulo 5 é feita uma exposição de todos os componentes montados e mencionados os tipos de ensaios possíveis de realizar com os mesmos.

Por último como forma de avaliação da unidade laboratorial expõem-se no capítulo 6 alguns exemplos de ensaios realizados solicitados por clientes (IPx2, IPx5 e IPx6k).

2. Estado Da Arte

2.1 Enquadramento Teórico

Para a elaboração do projeto de qualquer tipo de equipamento elétrico deve sempre ter-se em consideração o seu grau de proteção [1] e [2]. Um adequado projeto previne a ocorrência de danos físicos aos operadores (choques elétricos ou outros ferimentos) e danos no próprio equipamento que podem ocorrer da entrada de corpos sólidos ou água.

Inicialmente foram criadas normas específicas para componentes elétricos globais para normalizar o Índice de Proteção (IP), no entanto com o aumento da utilização de componentes elétricos e eletrónicos em veículos rodoviários, foi necessário a criação de normas específicas.

A norma IEC60529 [9] normaliza o IP para qualquer tipo de invólucro de componentes elétricos e serve de base à norma ISO 20653:2013 [7].

Por outro lado, a norma [3] ISO 12103-1 (Veículos rodoviários- Teste de poeira para avaliação de filtros – Parte 1: Poeira do Arizona) e a norma [11] IEC 6008-2-68 (Testes ambientais – Parte 2: Teste L: poeira e areia) servem de referência à norma ISO 20653:2013.

2.1.1 Norma IEC 60529

A norma internacional IEC 60529 (graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos) permite classificar também o tipo de proteção que contém os invólucros de equipamentos eletrónicos[1] e [2].

O código dispõe sempre no início as siglas IP (Índice de Proteção), sendo seguidas de um primeiro número referente à proteção contra o acesso de pessoas às partes perigosas e contra a penetração de objetos estranhos (Ex: toque com os dedos em zonas polarizadas e poeira) e de um segundo número, que identifica a proteção contra a penetração de água (Ex: Chuva ou lavagens com máquinas de alta pressão).

Existe a possibilidade da utilização de letras na designação caso seja necessário a identificação de algum tipo de proteção extra.

Na figura 1 pode-se verificar um exemplo de uma designação.



Figura 1: Apresentação e explicação do código IP23CH. [2]

2. ESTADO DA ARTE

Na figura 2 estão demonstrados os caracteres que cada tipo de proteção pode ter segundo a norma IEC 60529.

		2º Numeral Grau de proteção contra água											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8			
		Não protegido	Proteção contra quedas verticais de gotas d'água	Proteção contra quedas verticais de gotas d'água para uma inclinação máxima de 15 graus	Proteção contra água espingada de um ângulo de até 60 graus	Proteção contra projeções de água	Proteção contra jatos d'água	Proteção contra jatos potentes de água	Proteção contra imersão temporária submersão	Proteção contra imersão permanente			
			Tempo de teste 10 min	Tempo de teste 10 min	Tempo de teste 10 min	Tempo de teste 10 min	Tempo de teste 1 minuto	Tempo de teste 1 minuto	Tempo de teste 30 min	Tempo de teste 30 min			
1º Numeral Grau de proteção contra objetos sólidos	Não protegido	0	IP 00	IP 01	IP 02	IP 13	IP 23	IP 33	IP 43	IP 53	IP 63	IP 73	IP 83
	Proteção contra objetos sólidos com Ø maior que 50mm	1	IP 10	IP 11	IP 12	IP 13							
	Proteção contra objetos sólidos com Ø maior que 1,25mm	2	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23							
	Proteção contra objetos sólidos com Ø maior que 2,5mm	3	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34						
	Proteção contra objetos sólidos com Ø maior que 5mm	4	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44	IP 45	IP 46				
	Proteção contra poeira depreciação: 200mm de coluna d'água Máxima aspiração de ar: 80 vezes o volume do invólucro	5						IP 54	IP 55	IP 56			
	Totalmente protegido contra a poeira. Mesmo procedimento de teste	6							IP 65	IP 66	IP 67	IP 68	

Figura 2: Grau de IP de invólucros de materiais elétricos segundo a norma IEC 60529 [6].

2.1.2 Norma ISO 12103-1

Consultando o resumo disponível da norma ISO 12103-1 [3] verifica-se que esta permite estudar o rendimento de filtros de ar.

Esta norma está organizada em partes consoante o tipo de contaminantes a utilizar, sendo elas:

- Parte 1: Ensaio de pó do Arizona;
- Parte 2: Ensaio de pó de óxido de alumínio;
- Parte 3: Mistura de fuligem (ainda em preparação).

Visto que a norma ISO 20653:2013 apenas tem em conta a parte 1, passa-se de seguida a explicar de uma forma sucinta algumas especificações da mesma.

No ensaio de pó do Arizona são especificados quatro tipos de poeiras, feitas a partir de areia do deserto do Arizona e compostas por componentes naturais que os veículos a motor consomem normalmente.

Os quatro tipos de poeiras classificam-se nas categorias apresentadas na tabela 1.

Designação	Densidade (Kg/m ³)
ISO12103-1, A.1 Pó de teste ultrafino	500
ISO12103-1, A.2 Pó de teste fino	900
ISO12103-1, A.3 Pó de teste médio	1025
ISO12103-1, A.4 Pó de teste grosso	1200

Tabela 1: Classificação de partículas segundo a norma ISO12103-1.

2.1.3 Norma IEC 6008

Segundo a empresa de testes “Desserro Engineering Solutions” [4] “A IEC 60068 é uma coleção de métodos para ensaios ambientais de equipamentos eletrônicos e produtos para avaliar a sua capacidade de realizar em condições ambientais, incluindo calor extremo e frio seco”.

A mesma empresa dispõe de uma lista das variantes da norma IEC 60068, sendo apresentada na tabela 2.

IEC 60068-2-	Nº.	Designação
		1
	2	Calor seco
	5	Teste de radiação solar
	6	Vibração (sinusoidal)
	7	Aceleração, estado estacionário
	10	Crescimento do molde
	11	Névoa de sal
	13	Baixa pressão do ar
	14	Mudança de temperatura
	17	Selagem
	18	Água
	27	Choque
	30	Aquecimento húmido, cíclico
	31	Choque de manuseio brusco
	38	Teste cíclico de temperatura / umidade composta
	40	Testes combinados de pressão de ar frio / baixo
	41	Teste combinado de calor seco / baixa pressão de ar
	45	Imersão em solventes de limpeza
	55	Teste de carga solta, incluindo o salto
	64	Vibração, banda larga aleatória
	67	Aquecimento húmido, estado estacionário, teste acelerado principalmente destinado a componentes
	68	Poeira e areia
	74	Contaminação de fluidos
	75	Testes de martelo
	78	Aquecimento húmido, estado estacionário
	80	Vibração - Modo misto
	81	Choque - síntese do espectro de resposta de choque

Tabela 2: Variantes de teste para a norma IEC 60068 [4].

Como base à norma ISO 20653:2013 foram considerados os parâmetros da variante 68 ou seja a norma IEC 6008-2-68: Poeira e Areia.

2. ESTADO DA ARTE

2.1.4 Norma ISO 20653:2013

A Norma ISO 20653:2013 (Veículos rodoviários- Índice de proteção (código IP) – Proteção de equipamentos elétricos contra objetos estranhos e acesso de água) foi preparada pelo comitê técnico ISO/TC 22, veículos rodoviários e subcomitê SC3, equipamentos elétricos e eletrônicos.

Esta é dividida em nove pontos, sendo eles:

- | | |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1- Objetivo e campo de aplicação; | 6- Graus de proteção contra água; |
| 2- Referências normativas; | 7- Exemplos de designações; |
| 3- Termos e definições; | 8- Requisitos e testes; |
| 4- Estrutura e significado do código de IP; | 9- Notas sobre atribuição de graus de proteção. |
| 5- Graus de proteção contra acesso a objetos estranhos; | |

Inicialmente é exposta na norma ISO 20653:2013 a utilização das normas IEC 60529, ISO 12103-1 e IEC 6008-2-68 como base na sua criação.

No ponto 1 estão apresentados os graus de proteção para o qual a norma está definida e as respectivas especificações, sendo elas:

- Proteção do equipamento elétrico contra a entrada de objetos estranhos:
 - Proteção contra acesso de objetos desconhecidos (Ex: poeiras)
 - Proteção contra acesso a utensílios utilizados por pessoas;
 - Proteção contra entrada de água.
- Requisitos para cada grau de proteção;
- Ensaios para verificar se os componentes cumprem os requisitos do grau de proteção pretendido.

De seguida, no ponto 3, são apresentadas definições para termos utilizados ao longo da norma, permitindo esclarecer dúvidas de interpretação:

- **Invólucro** – *“Parte que provieniência proteção ao equipamento contra influências externas em todas as direções de acesso”;*
- **Grau de proteção** – *“nível de proteção promovido por um invólucro contra acesso a objetos e/ou água, verificado através de testes normalizados”;*
- **Código internacional de proteção (IP Code)** – *“Sistema de código para indicar o grau de proteção que um invólucro provieniência contra acesso a objetos estranhos ou/e água e para dar informação adicional em relação a outras partes”;*
- **Parte perigosa** – *“parte que apresenta perigo ao toque ou aproximação”*

- **Abertura** – “uma ranhura ou abertura existente num invólucro, ou que pode ser formada pela aplicação de um calibrador de ensaio a uma força especificada”.

Na parte 4 é apresentada a estrutura de código que apresenta os graus de proteção, sendo semelhante ao anterior apresentado na norma ISO 60529, existindo a diferença na parte alfabética, nesta norma apresentam as letras utilizadas, como se pode observar na figura 3.

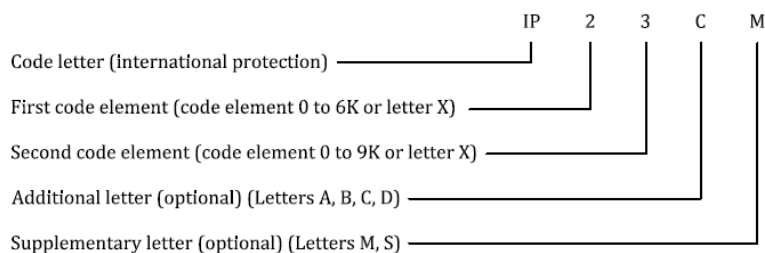


Figura 3: Nomenclatura para grau de proteção de invólucros segundo a norma ISO 20653:2013 [7].

De seguida apresenta-se a tabela 3 que contém a descrição para cada número possível do código. É feita a referência que quando algum tipo de teste não é indicado, é colocada a letra “x” no respetivo espaço designado ao tipo de ensaio.

Element	IP	Meaning for the protection of electrical equipment	Meaning for the protection of persons
First code element		Against foreign objects (including dust):	Against access:
	0	— not protected	— not protected
	1	— with diameter ≥ 50 mm	— with back of hand
	2	— with diameter $\geq 12,5$ mm	— with finger
	3	— with diameter $\geq 2,5$ mm	— with tool
	4	— with diameter $\geq 1,0$ mm	— with wire
	5K	— dust-protected	— with wire
Second code element	6K	— dust-tight	— with wire
		Against water:	Not applicable
	0	— not protected	
	1	— vertical water drips	
	2	— water drips (15° inclination)	
	3	— water spray	
	4	— splash water	
	4K	— splash water with increased pressure	
	5	— high-velocity water	
	6	— strong high-velocity water	
6K	— strong high-velocity water with increased pressure		
7	— temporary immersion		
8	— continuous submersion		
9K	— high-pressure/steam-jet cleaning		
Additional letter (optional)		Not applicable	Against access (unless described by first letter)
	A		— with back of hand
	B		— with finger
	C		— with tool
Supplementary letter (optional)	D		— with wire
	M	Movement of moveable parts during water test	Not applicable
	S	Standstill of moveable parts during water test	

Tabela 3: Descrição de cada tipo de proteção contra acesso a objetos estranhos ou a água segundo a norma ISO 20653:2013 [7].

2. ESTADO DA ARTE

Por último, nos pontos 5 a 9, são feitas especificações sobre cada tipo de proteção desejada e sobre o tipo de ensaio a fazer.

Na parte de proteção contra acesso de água, é apresentada a tabela 4 em forma de síntese, onde se especifica para cada tipo de ensaio, as características ambientais e do fluido que deve ser utilizado.

2nd code element	Test equipment Test conditions	Water flow rate	Water pressure	Water temperature	Exposure time
0	-	-	-	-	-
1	Drip apparatus Figure 3 Enclosure on turntable Speed approx. 1 r/min	(1,0 + 0,5) mm/min (precipitation height)	-	Difference of the temperature of the equipment under test no more than 5 °C. For water temperatures which are more than 5 °C lower, measures shall be agreed between the users of the standard to prevent the formation of condensed water.	10 min
2	Drip apparatus Figure 3 Enclosure in 4 fixed positions, inclined by 15°	(3,0 + 0,5) mm/min (precipitation height)	-		2,5 min for each of the four positions
3	Swivel tube Figure 4 with apertures diameter 0,4 mm to ± 60° from the vertical plane spray while swivelling the swivel tube by ± 60° with reference to the vertical plane at a rate of approx. 1 s/60° Max. distance 200 mm	0,1 l/min ± 5 % per aperture (medium value), or	approx. 80 kPa		10 min (5 min in one position, 5 min in a position swivelled from this position by 90° along the horizontal level)
	or shower tube Figure 5 spray while swivelling the shower tube by ± 60° with reference to the vertical plane Max. distance 500 mm	10 l/min ± 5 %	50 kPa to 150 kPa		5 min
4	Swivel tube Figure 4 as under 3, but with apertures diameter 0,4 mm ± 90° from the vertical plane; spray while swivelling the swivel tube by ± (180° to 20°) with reference to the vertical plane at a rate of approx. 1 s/60° Max. distance 200 mm	as under 3	as under 3		as under 3
	or shower tube Figure 5 , but with removed cover, spray while swivelling the shower tube by ± 90° with reference to the vertical plane Max. distance 500 mm				
4K	Swivel tube Figure 4 as under 3, but with apertures diameter 0,8 mm ± 90° from the vertical plane, spray while swivelling the swivel tube by ± (180° to 20°) with reference to the vertical plane at a rate of approx. 1 s/60° Max. distance 200 mm	0,6 l/min ± 5 % per aperture (medium value)	approx. 400 kPa	10 min (5 min in one position, 5 min in a position swivelled from this position by 90°)	
5	Water jet, nozzle 6,3 mm diameter according to Figure 6 Distance 2,5 m to 3 m	12,5 l/min ± 5 %	approx. 30 kPa	3 min	

6	Water jet, nozzle 12,5 mm diameter according to Figure 6 Distance 2,5 m to 3 m	100 l/min \pm 5 %	approx. 100 kPa	Difference of the temperature of the equipment under test no more than 5 °C. For water temperatures which are more than 5 °C lower, measures shall be agreed between the users of the standard to prevent the formation of condensed water.	3 min
6K	Water jet, nozzle 6,3 mm diameter according to Figure 6 Distance 2,5 m to 3 m	75 l/min \pm 5 %	approx. 1 000 kPa		min. 3 min
7	Immersion basin immersion depth: 1 m (deepest housing location) 0,15 m water above highest housing location, if housing is larger than 0,85 m	-	-	-	30 min
8	Submersion basin water level: and submersion depth as agreed between the users of the standard	-	-		subject to agreement
9K	Test set-up Figure 7 speed (5 \pm 1) r/min spray at 0°, 30°, 60°, 90° Distance (100 to 150) mm	14 to 16 l/min	approx. (8 000 to 10 000) kPa	(80 \pm 5) °C Deviating temperatures may be agreed	30 s per position

Tabela 4: Resumo de ensaios e condições para proteção contra água segundo a norma ISO 20653:2013 [7].

Os ensaios podem-se agrupar em 4 tipos:

- Queda vertical de gotas de água (IPx1 e IPx2);
- Salpico e “spray” de água, processo manual (IPx3 e IPx4) ou automatizado (IPx3, IPx4e IPx4K);
- Alto caudal de água (IPx5, IPx6, IPx6K);
- Alta pressão de água / vapor (IPx9K).

Na realização do projeto do laboratório é necessário cumprir à risca cada tipo de especificação apresentada na norma, para cada tipo de teste pretendido.

No ensaio de queda vertical de gotas de água é necessário consultar as especificações da norma – anexo 1.

Para o ensaio de salpico e pulverização de água pode ser realizado através de um sistema automático que está presente no anexo 2 ou sistema manual presente no anexo 3.

Para o ensaio de alta pressão de água, encontram-se no anexo 4 as especificações do bico de pressão. Por último, para o ensaio de alta pressão de água/vapor, as especificações estão presentes no anexo 5.

2. ESTADO DA ARTE

2.1.5 Dimensionamento mecânico

O dimensionamento de toda a estrutura do projeto implica o estudo dos diversos carregamentos estáticos e os dinâmicos [11].

Para os carregamentos estáticos, onde se aplicam cargas constantes, utiliza-se o critério de Von Misses, e para o caso do estudo da fadiga utiliza-se o critério de Goodman. Para a verificação da resistência de cada componente irão ser seguidos os procedimentos mencionados por:

- Inicialmente faz-se o diagrama do corpo livre para o componente em estudo, desenhando no mesmo as forças aplicadas e as respectivas reações.
- De seguida calcula-se o valor da intensidade dos esforços presentes. Com isso pode-se obter esforços de tração, compressão, torção e flexão.
- Obtidos os esforços a partir das solicitações de momentos fletores, esforços axiais e momentos torsores, calcula-se o valor das respectivas tensões.

$$\sigma_{normal} = \frac{F_{normal}}{A_{seção}} \quad \text{e} \quad (\sigma_{xnominal}) = \frac{M \times y}{I}$$

$$\zeta_{corte} = \frac{T \times r}{J}$$

Onde:

I - Momento de inércia;

J - Momento de inércia polar;

T - Torque ao qual está sujeita a peça;

M – Valor do momento fletor;

y – Valor da distância do centro de massa à extremidade.

- Com os valores de tensão aplica-se o critério de Von Mises e obtém-se um valor de tensão equivalente de Von Mises ($\sigma_{eq. V.M.}$).

$$\sigma_{eq. V.M.} = \sqrt{\sigma_{normal}^2 + 3 \times \zeta_{corte}^2}$$

- Obtido o valor da tensão equivalente de Von Mises verifica-se se o valor é inferior à tensão de cedência do material (S_y) a dividir por um fator de segurança (CS).

$$\sigma_{eq} \leq \frac{S_y}{CS}$$

- De salientar que esta sequência é para o caso simples de um veio liso sem localização de concentração de tensões, quando isso ocorrer é necessário multiplicar as tensões por um fator de concentração de tensão.
- Para projetar à fadiga, utilizam-se os valores de forças dinâmicas aplicadas no movimento e a velocidade de rotação. Neste projeto utiliza-se o critério de Goodman.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Onde:

σ_m ou $\sigma_{eq. V.M.}$ - Tensão média aplicada;

σ_a - Amplitude da componente alternante da força;

S_e - Limite de resistência à fadiga;

S_{ut} - Resistência mínima à tração;

n - Número de ciclos, $n < 1$ existe rutura por fadiga, se $n=1$ calcula-se qual o valor de ciclos ao qual vai acontecer rutura por fadiga.

- A obtenção de σ_m é dada por: $\sigma_{med} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$
- O valor de σ_a obtém-se por: $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$

Para calcular o S_e aplicam-se vários coeficientes ao valor de limite de fadiga do material, sendo: $S_e = k_a \times k_b \times k_c \times k \times k_e \times k_f \times S'_e$;

k_a - Fator de superfície, este fator depende do acabamento superficial da peça e é calculado por: $k_a = a S_{ut}^b$.

O valor de resistência à tração (S_{ut}) é dado pelo tipo de material utilizado e os coeficientes “a” e “b” retiram-se da tabela 5, consoante o tipo de acabamento presente na secção em estudo.

Acabamento Superficial	Fator a S_{ut} [Mpa]	Expoente b
Retificado	1,58	-0,085
Maquinado ou laminado a frio	4,51	-0,265
Laminado a quente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

Tabela 5: Parâmetros para o fator de superfície [11].

k_b - Fator de tamanho. Neste caso existe diferenciação para o tipo de carregamento sendo expresso da seguinte forma:

$$k_b = \begin{cases} (d/7,62)^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Caso seja uma geometria não circular o valor de “d” é dado por $d=0,808(h.b)^{1/2}$, onde “h.b” está catalogado para o caso de flexão não rotativa.

Caso só exista carregamento axial este valor passa a ser igual a 1.

k_c - Fator de carregamento. Este valor pode ser:

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{Flexão} \\ 0,85 & \text{Axial} \\ 0,59 & \text{Torção} \end{cases}$$

Para o caso do fator de torção, só é utilizado quando existe apenas torção no processo de fadiga.

2. ESTADO DA ARTE

k_d – Fator de temperatura. Neste fator considera-se a temperatura operacional a que vai estar sujeita a peça em estudo, obtém-se por:

$$k_d = 0,9877 + 0,6507(10^{-3})T_c - 0,3414(10^{-5})T_c^2 + 0,5621(10^{-8})T_c^3 - 6,246(10^{-12})T_c^4$$

Utiliza-se para o intervalo de temperatura entre: $37 \leq T_c \leq 540^\circ C$. Caso a temperatura de funcionamento seja a ambiente o valor de $k_d=1$.

k_e – Fator de confiabilidade. Para este fator entra-se com o fator de probabilidade de falha.

O valor de “ z_a ” é obtido consultando a tabela 6 ou calcula-se através da expressão: $k_e=1-0,08z_a$

Confiabilidade %	Variante de transformação z_a	Fator de confiabilidade k_e
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
999,999	4,753	0,620

Tabela 6: Fatores de confiabilidade k_e [11].

k_f - Fator de efeitos diversos. Neste caso não existe nenhum valor implícito, mas serve para recordar a possibilidade de ser necessário a aplicação de outros fatores como por exemplo quando existe concentração de tensões, ou corrosão.

Calculado o valor de S_e e as restantes características, calcula-se o valor de “ n ” e. Com o valor de “ n ” tem-se os seguintes casos:

$$n = \begin{cases} < 1 & \text{não está corretamente dimensionado à fadiga} \\ \geq 1 & \text{está corretamente dimencionado à fadiga} \end{cases}$$

2.1.6 Seleção de motores

Para a escolha dos motores foi necessário definir alguns parâmetros iniciais de projeto, tais como:

- Índice mínimo de proteção contra água IPx5;
- Peso máximo de amostra em teste de 45kg;

2.1.6.1 Motor de passo

Na seleção dos motores de passo foi utilizado o catálogo técnico da ORIENTAL MOTOR GENERAL 8 [15], com isso utilizam-se os seguintes procedimentos:

▪ Inércia do sistema

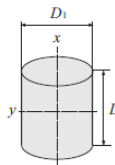
Deve iniciar-se a seleção pela caracterização do tipo de movimento e respetivo cálculo de inércias, tendo por base a figura 4.

● Calculate the Moment of Inertia

◇ Inertia of a Cylinder

$$J_x = \frac{1}{8} m D^2 = \frac{\pi}{32} \rho L D^4 \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑦}$$

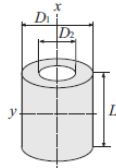
$$J_y = \frac{1}{4} m \left(\frac{D^2}{4} + \frac{L^2}{3} \right) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑧}$$



◇ Inertia of a Hollow Cylinder

$$J_x = \frac{1}{8} m (D_1^2 + D_2^2) = \frac{\pi}{32} \rho L (D_1^4 - D_2^4) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑨}$$

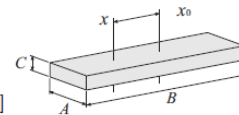
$$J_y = \frac{1}{4} m \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{4} + \frac{L^2}{3} \right) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑩}$$



◇ Inertia on Off-Center Axis

$$J_x = J_{x_0} + m l^2 = \frac{1}{12} m (A^2 + B^2 + 12l^2) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑪}$$

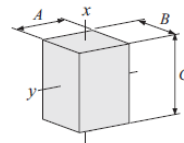
l : Distance between x and x_0 axes [m]



◇ Inertia of a Rectangular Pillar

$$J_x = \frac{1}{12} m (A^2 + B^2) = \frac{1}{12} \rho ABC (A^2 + B^2) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑫}$$

$$J_y = \frac{1}{12} m (B^2 + C^2) = \frac{1}{12} \rho ABC (B^2 + C^2) \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑬}$$



◇ Inertia of an Object in Linear Motion

$$J = m \left(\frac{A}{2\pi} \right)^2 \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \text{⑭}$$

A : Unit of movement [m/rev]

Figura 4: Expressões para cálculo das inércias [12].

▪ Cálculo do binário requerido

$$T_M = (T_L + T_A) \times S_f$$

Onde:

T_L – Binário de carga [N.m];

T_a – Binário de aceleração [N.m]

S_f – Fator de segurança (nestas aplicações $S_f=1,7$)

Binário de Carga [T_L]

Para cada tipo de movimento calcula-se o binário de carga pelos esquemas apresentados na

Figura 5.

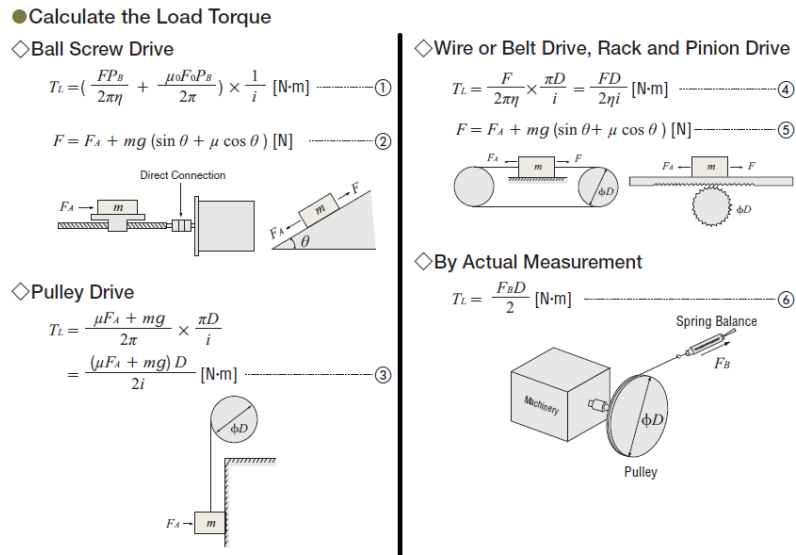


Figura 5: Diferentes formas de cálculo de torque de carga (T_L)

Binário de Aceleração [T_A]

Obtém-se a partir do valor de inércia do sistema em movimento e a aceleração pretendida

$$T_A = I_{sist.mov.} \times \alpha$$

Onde:

$I_{sist.mov.}$ – é a soma das inércias de todos os componentes envolvidos no movimento [kg/m²];
 α – aceleração máxima do movimento [rad/s²].

▪ **Seleção do perfil de velocidades pretendido**

Perante o movimento pretendido, deve selecionar-se o tipo de perfil que melhor se enquadra. Na figura 6 é apresentado o perfil de velocidades utilizado em todos os motores deste projeto.

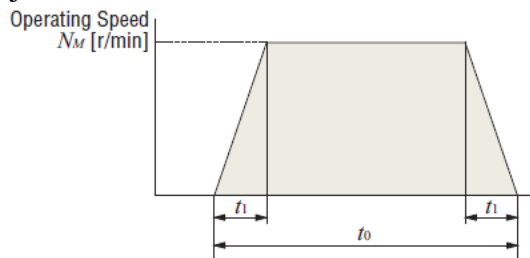


Figura 6: Perfil de velocidades pretendido para os movimentos.

- Aceleração do movimento

No cálculo das acelerações de movimento linear e angular utilizam-se as seguintes equações para o cálculo do valor de velocidade.

$$v = v_0 + at$$

$$\omega = \omega_0 + at$$

Onde:

v- Velocidade linear pretendida ao fim de um período de tempo (m/s);

v₀-Velocidade inicial (nestes casos é sempre 0, porque parte de parado) (m/s)

α - Aceleração linear (m/s²);

t – Tempo que se pretende que atinja a velocidade constante (s);

ω - Velocidade angular pretendida ao fim de um período de tempo (rad/s);

ω₀-Velocidade angular inicial (neste caso 0, porque parte de parado) (rad/s);

α - aceleração angular (rad/s²).

- Relação de inércias

O fabricante recomenda que a relação de inércias deve ser inferior a 10, no entanto para os casos mais exigentes deve utilizar-se o valor de 5.

$$\frac{I_L}{I_0 \times i^2} \leq 5$$

Onde:

I_L – Inércia do sistema [kg/m²];

I₀ – Inércia do motor selecionado [kg/m²];

i – Relação de transmissão.

- Seleção da caixa redutora

$$i \geq \sqrt{\frac{I_L}{I_0 \times 5}}$$

Com o valor de “i” deve-se consultar o catálogo de caixas redutoras e selecionar a que tiver uma relação de transmissão standard igual ou superior ao valor calculado.

- Verificação da caixa e do motor

$$T_{IN} = \frac{T_{OUT}}{i \times ef}$$

$$\omega_{IN} = \frac{\omega_{OUT} \times i}{ef}$$

Onde:

T_{IN} – Binário de entrada na caixa redutora [N.m];

T_M = T_{OUT} – Binário de saída na caixa redutora [N.m];

ω_{IN} – Velocidade de rotação de entrada da caixa redutora [rpm];

ω_{OUT} – Velocidade de rotação de saída da caixa redutora [rpm];

ef – Eficiência da caixa redutora.

Por último deve verificar-se no gráfico do motor, se o ponto de funcionamento está abaixo do seu valor de binário máximo para a velocidade de rotação em causa.

2. ESTADO DA ARTE

2.1.6.2 Servo motores

Para solicitações com maior potência é necessário recorrer a servo motores, e para tal utilizou-se o catálogo [14] do fabricante SEW com referência de seleção.

Inicialmente o fabricante começa por resumir as características que se pretendem no movimento colocando os dados numa tabela semelhante á representada na tabela 7.

Designação	Valor	Unid.
Massa em movimento(m)		kg
Coeficiente de atrito (μ)		
Tempo de movimento (t)		s
Distancia de movimento (s)		m
Velocidade de movimento (v_{max})		m/s
Aceleração máxima (a_{max})		m/s ²
Desaceleração máxima (-a)		m/s ²
Diâmetro da polia [D_L]		m
Fator de eficiência(n_L)		

Tabela 7: Exemplo de dados para seleção de servo motores.

- Cálculo do binário estático

$$M_{est} = \frac{(m \times g \times \mu) \times \frac{d_0}{2}}{n_L}$$

- Binário em aceleração

$$M_{dyn} = \frac{(m \times a) \times \frac{d_0}{2}}{n_L}$$

- Binário requerido

$$M_{max} = M_{est} + M_{dyn}$$

- Velocidade de rotação

$$n_{amax} = \frac{v_{max}}{n_L \times \pi} \times 60$$

- Relação de transmissão

$$i = \frac{n_s \times 0,9}{n_{amax}}$$

Reserva de 10% da velocidade do motor

- Seleção de caixa redutora

Consulta-se o catálogo e seleciona-se uma caixa redutora com a relação de transmissão aproximada à obtida e verifica-se as suas características.

- Força radial

$$F_{R\ max} = \frac{M_{Max}}{d_0/2} \times f_s$$

- Seleção do servo motor

Deve selecionar-se um servo motor com: $M_{pk} > M_{max}$

- Verificação de inércias

$$J_{ext} = 9,12 \times m \times \left(\frac{v_{max}}{n_{max}}\right)^2 + J_G$$

$$k = \frac{J_{ext}}{J_{Motor}}$$

$$k \leq 15$$

2.1.7 Seleção de acoplamentos

Segundo a empresa April [15] os acoplamentos são componentes mecânicos que permitem a junção entre equipamentos rotativos de forma coaxial, figura 7.

A mesma empresa identifica 3 tipos de acoplamentos classificando-os em: elásticos, flexíveis e rígidos.

- **Acoplamentos elásticos** têm flexibilidade através da utilização de um material resiliente como junção (ex: borracha, plástico) estes permitem flexibilidade à tração ou compressão.

- **Acoplamentos flexíveis**, tem a sua flexibilidade através de folga de encaixe dos componentes e possibilidade de deslizamento entre eles, permitem algum grau de desalinhamento, mas menos que os elásticos. Por outro lado, permitem uma menor distorção o que é melhor para casos de sincronismo.

- **Acoplamentos rígidos**, introduzem maiores reações nos equipamentos e não permitem qualquer desalinhamento, tendo mesmo que ser garantido um alinhamento perfeito entre as duas partes a unir.

Neste projeto utilizam-se acoplamentos flexíveis. Para a seleção dos mesmos recorreu-se ao catálogo da GERWAH [16], devido à gama de torques apresentados neste projeto escolheu-se os acoplamentos da serie PKN.

Segundo o fabricante para a seleção dos acoplamentos deve-se ter atenção ao torque e à frequência de ressonância.

Inicia-se a escolha, consultando a tabela técnica de acoplamentos [16] e seleciona-se o acoplamento que mais se enquadre na aplicação pretendida através do torque máximo que este suporta.

Escolhido o acoplamento, utilizam-se os dados do mesmo para verificar se a condição imposta na equação seguinte é satisfeita.

Quanto ao cálculo da frequência de ressonância (f_{res}) deve verificar-se que a velocidade de rotação do componente na aplicação não ultrapassa esse valor.

$$T_{KN} \geq K \times T_{AS} \times \frac{J_{Masch}}{J_{Mot} + J_{Masch}}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{C_{Tdyn} \times \frac{J_{Mot} + J_{Masch}}{J_{Mot} \times J_{Masch}}}$$

Onde:

K- Fator de tipo de movimento. Neste projeto será 1 porque como se utiliza os binários calculados nos motores, os mesmos já têm um K=2;

T_{AS} – Pico de torque do sistema [N.m];

J_{Mot} – Momento de inércia do conjunto motor e caixa [kg.m²];

J_{Masch} – Momento de inércia do sistema a movimentar [kg.m²];

C_{Tdyn} – Resistência dinâmica à torção [N.m/rad].



Figura 7: Acoplamento para veios da marca GERWAH

2. ESTADO DA ARTE

2.1.8 Verificação de rolamentos e chumaceiras

Em cada junta de rotação decidiu-se utilizar rolamentos com chumaceiras de montagem rápida. Neste projeto devido às restrições geométricas, o primeiro facto de seleção de rolamentos são as dimensões que pode ter o rolamento. Com isso depois de selecionado verifica-se se está dentro do limite de tempo de vida pretendido.

A verificação do rolamento teve com base o catálogo técnico da marca FAG [17] e consiste nos seguintes procedimentos:

- Características do rolamento

Propriedade	Valor	Unidade
Carga dinâmica [C]		kN
Carga estática [C ₀]		kN
Diâmetro externo [D]		mm
Diâmetro do furo [d]		mm

- Carga equivalente no rolamento

Cálculo de: $\frac{f_0 \times F_a}{C_0}$

Obter valor de: e

Verificando-se que: $\frac{f_0 \times F_a}{C_0} \leq e$ ou $\frac{f_0 \times F_a}{C_0} \geq e$

Retirar valores para X e Y.

Onde:

f_0 – Fator f_0 dependendo do diâmetro do furo e da gama do rolamento;

X - Fator de carga radial;

Y – Fator de carga axial.

De seguida calcula-se a carga equivalente no rolamento (P) pela expressão:

$$P = X \times Fr + Y \times Fa$$

- Tempo de vida normal do rolamento

$$\sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} = \frac{C}{P} \times f_n$$

Onde:

f_n – Fator de rotação. Consultar tabela de fabricante;

p – Expoente de duração de vida. Num rolamento de esferas tem o valor de 3;

L_h – Tempo de vida teórico esperado do rolamento [horas].

- Tempo real de vida

$$L_{hna} = a_1 \times a_{23} \times L_h$$

Onde:

L_{hna} – Tempo de vida real esperado para o rolamento [horas];

a_1 – Fator de probabilidade de falha. Considerando uma probabilidade de 2%, $a_1=0,33$;

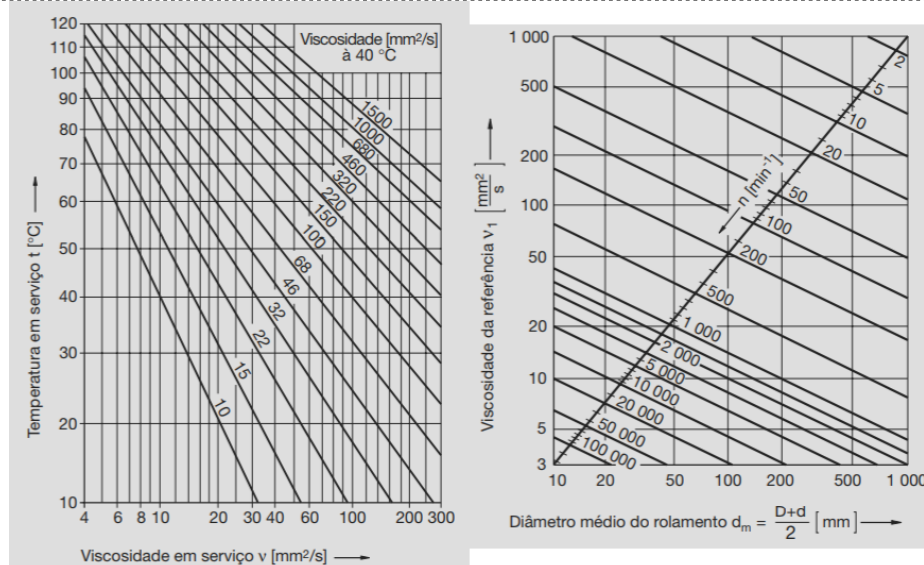


Figura 8: Ábacos para obtenção da viscosidade de referência para o lubrificante dos rolamentos [17].

a₂₃ – Fator para determinação da duração de vida atingível. Neste fator é necessário fazer alguns cálculos de parâmetros intermédios para se poder consultar os abacos presentes na figura 8, tais como:

Com:	Obtém-se pela figura 8:
$d_m = \frac{D+d}{2}$ [mm]	O valor de v_1 [mm ² /s]
E o valor de n	
Com uma temperatura de funcionamento e para uma viscosidade a 40°C de 22 [mm ² /s]	Obtém-se uma viscosidade de serviço de: v [mm ² /s]
-Valor de k:	
$k = \frac{v}{v_1}$	Escolher para o tipo de rolamento utilizado, o valor de K_1 e o valor de K_2 .
-Valor de f_s :	Obtém-se:
$f_s = \frac{C_0}{P_0}$	$K = K_1 + K_2$
Utiliza-se o valor de 12 visto ser o maior do gráfico correspondente.	
Utiliza-se os valores de K e k recorre-se ao abaco da figura 9	Obtém-se o valor de a_{23}

2. ESTADO DA ARTE

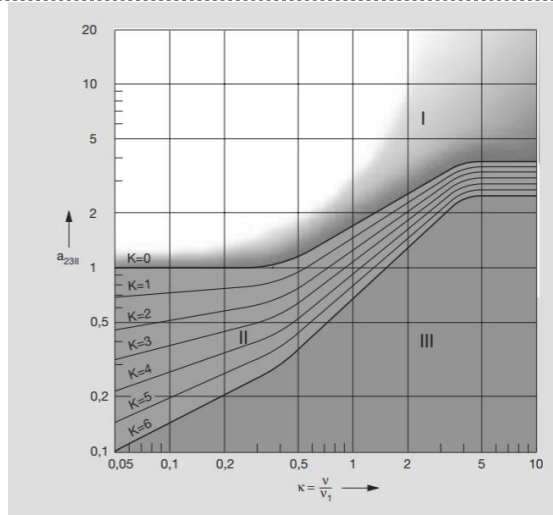


Figura 9: Abaco para obtenção do valor de a_{23} [17].

▪ Verificação do tempo de vida

Define-se o valor de horas pretendido para o tempo de vida e verifica-se se está abaixo do tempo de vida real calculado para o rolamento. Caso não esteja, deve seleccionar-se um rolamento mais resistente.

2.1.9 Seleção de correias sincronizadoras

Na seleção de correias sincronizadoras, recorreu-se ao catálogo técnico da marca Optibelt [18]. Para todas as correias necessárias, utilizaram-se as seguintes etapas:

▪ Identificação das características do sistema de movimento

Designação	Valor	Unid.
Massa em movimento [m]		kg
Velocidade [v]		m/s
Binário de arranque [M_{Abth}]		Nm
Rotação de entrada [n_1]		rpm
Operação diária máxima		horas
Start/Stop por dia		-
Distancia necessária [a]		mm
Diâmetro polia [d_{w1}]		mm
Motor primário		
Tipo de arranque		
Tipo de carga		
Condições ambientais		

▪ Fatores de serviço

$$C_2 = C_0 + C_6 + C_8$$

C_0 – Fator de vida básico.

C_6 – Fator de correção de polia e correia.

C_8 – Fator de carga. Até 1,5 vezes o torque nominal.

- Binário teórico de projeto

$$M_{Bth} = C_2 \times M_{Abth}$$

- Velocidade efetiva da correia

$$v_{eff} = \frac{d_{w1} \times n_1}{19100}$$

- Seleção da secção da correia

Recorrendo ao gráfico de binário/velocidade com os diversos tipos de correia, com os valores de M_{Bth} e o número de dentes da polia pequena seleciona-se o tipo de correia mais indicada.

Correia selecionada:

Tipo:

Propriedades:

$b_{st} =$

$t =$

- Binário transmissível pela correia

Number of teeth on the small pulley z_1	M_{spec} (Nm/cm)												
	XL	L	H	XH	T5	T10	T20	AT5	AT10	AT20*	5M*	8M*	14M
35	0.67	1.81	2.72	10.53	0.67	2.64	10.53	0.80	3.43	13.69	0.97	2.77	8.21
36	0.69	1.87	2.80	10.83	0.69	2.72	10.83	0.83	3.54	14.08	1.00	2.86	8.45

$$M_{spec} = M_{spec}(tipo, z_1)$$

- Tamanho teórico e standard da correia

$$b_{th} = \frac{M_B \times 10}{M_{spec} \times z_e}$$

Condição de seleção:

Consultar o valor de b_{st} na tabela respetiva ao tipo de correia selecionada

$$b_{st} \geq b_{th}$$

- Fator atual de serviço

$$c_{2vorh} = c_2 \times \frac{b_{st}}{b_{th}}$$

- Configuração do tensionamento da correia

Fator de tensão c_v

$$c_v = \frac{c_2 - 1}{2} + 0,9$$

Verificar condição: $c_v \geq 1,05$

- Comprimento da correia

$$L_{wth} = 2 \times a + z_1 \times t$$

$$z_R = \frac{L_{wth}}{t}$$

$$L_{wnom} = z_R \times t$$

- Cálculo distância de tensionamento

$$x_v = \frac{c_v \times 0,001 \times L_{wnom}}{C_2 \times 2}$$

2. ESTADO DA ARTE

2.1.10 Seleção fuso roscado e porca

No deslocamento de cargas podem ser utilizados fusos roscados com respetiva porca, como por exemplo os representados na figura 10.

Este sistema permite transformar movimento circular de um motor em movimento linear.

Os fusos aplicados neste projeto serão da marca IGUS [19] pois possibilitam a sua utilização em ambientes adversos e sem necessidade de lubrificação adicional.

Para a escolha do tamanho do fuso e porca recorreu-se à metodologia do fabricante THK [20], neste caso o fabricante aplica a seguinte metodologia:

- Identificação das características do movimento;
- Calcular índice de carga:

$$f_s = \frac{f_t \times F}{P_F}$$

Onde:

f_s - Fator de segurança, tendo por base o tipo de funcionamento;

f_t - Fator de temperatura, este fator depende da temperatura de funcionamento;

F - Carga equivalente [N];

P_F - Força a que vai estar sujeito o movimento [N].

Calculada a carga equivalente consulta-se o catálogo e escolhe-se a porca que tiver um índice de carga dinâmico imediatamente acima do valor calculado.

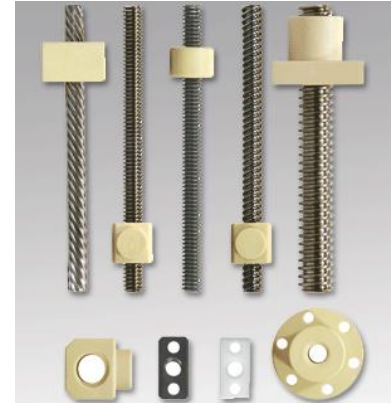


Figura 10: Exemplos de fusos e porcas [19]

2.1.11 Seleção de electroválvulas

As electroválvulas são componentes que permitem direccionar ou controlar um fluido, através de um circuito, através de um sinal elétrico [21]. Na figura 11 está representada um exemplo de uma electroválvula de controlo de fluido.

Neste projecto serão utilizadas electroválvulas para controlo de dois fluidos distintos. A água dos testes será controlada através de electroválvulas e o sistema de actuação do braço pneumático sendo necessário o controlo através de ar comprimido.

Para seleção das electroválvulas utilizadas no controlo do circuito de água para testes, recorreu-se ao catálogo técnico da marca Parker [25].

Consultando o catálogo verifica-se que é necessário calcular o fator de caudal para cada solicitação em específico, é calculado da seguinte forma:



Figura 11: Electroválvula para controlo de fluido [21].

$$k_v = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}}}$$

Onde:

k_v - Coeficiente de caudal [l/min.];

Q – Caudal [l/min.];

ΔP – Diferença de pressão [bar];

γ - Densidade do fluido. Para o caso da água a temperatura ambiente $\gamma = 1$ [kg/dm³].

Com o valor de k_v consulta-se a tabela de características do catálogo de eletroválvulas e escolhe-se a que tenha um valor igual ou imediatamente superior a esse valor.

Para a selecção das eletroválvulas terão que se ter em conta outros factores comuns a todas neste projecto, tais como:

- Válvulas normalmente fechadas;
- Alimentação da bobine igual para todas quando possível;
- Índice de protecção contra água no mínimo IPx5;
- Indicada para controlo de água;
- Tipo de conectores.

3. Dimensionamento

3.1 Considerações iniciais e metodologia de projeto

No projeto do laboratório de IPs seguiram-se as especificações impostas pela norma ISO 20653:2013, as quais estão diferenciadas pelo tipo de ensaio (anexo 6).

Para a elaboração do projeto foram selecionados vários componentes mecânicos, pelo que é necessário descrever os tipos de movimentos pretendidos. Na figura 12 são representados os sistemas necessários para a automatização de todos os tipos de ensaios.

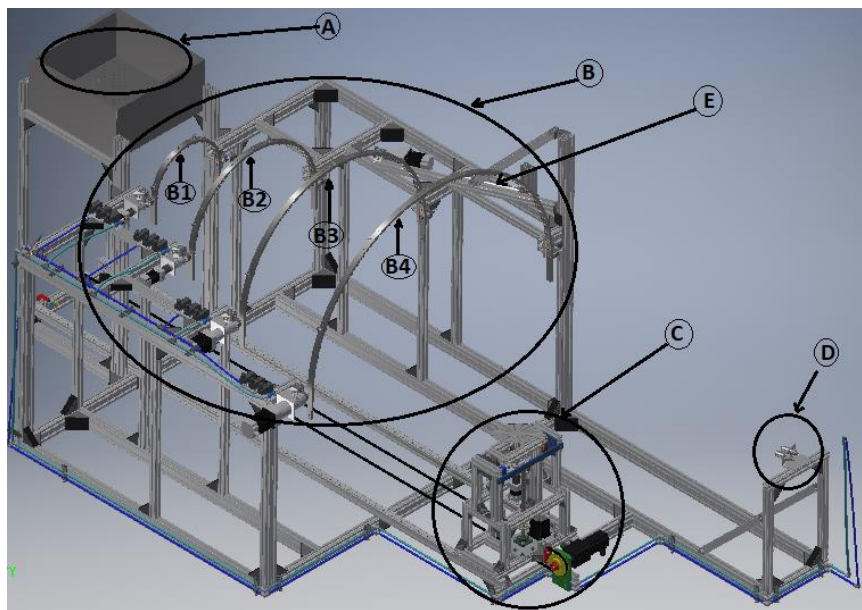


Figura 12: Máquina de ensaios de IPs. **A-** Sistema de teste de chuva (IPx1 e IPx2); **B-** Sistema de arcos (IPx3, IPx4 e IPx4k) [**B1**-Arco 200; **B2** – Arco 400; **B3** – Arco 600; **B4** -Arco 800]; **C-** Sistema movimentação da amostra; **D-** Teste de jatos (IPx5, IPx6 e IPx6k); **E-** Braço para teste IPx9k.

No anexo 10 encontra-se a representação das soluções encontradas para o laboratório de IPs no seu todo.

De seguida são apresentados os diferentes componentes, as metodologias de seleção utilizadas e os resultados obtidos, para cada tipo de sistema.

3.2 Estrutura

Atendendo às condições em que se realizam os ensaios, houve a necessidade de considerar alguns fatores na escolha do material estrutural, como por exemplo:

- Baixa oxidação em água;
- Fácil montagem (sem soldadura);
- Fácil adaptabilidade/versatilidade;
- Propriedades mecânicas;
- ” Design”.



Figura 13: Exemplo perfil alumínio [24].

Com base nestes fatores, decidiu-se pela utilização de perfis de alumínio extrudado, Figura 13, sendo as gamas utilizadas apresentadas na figura 14.

- Perfil 40x40L Tipo I Ranhura 8;
- Perfil 40x80L Tipo L Ranhura 8;

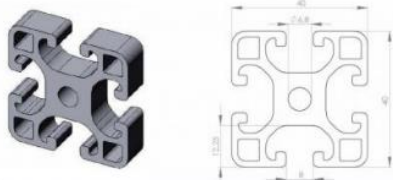
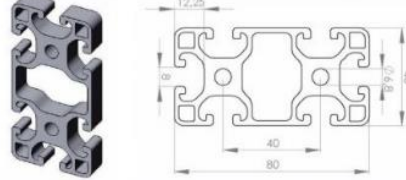
Profile 40x40L I-Type slot 8		Profile 40x80L I-Type slot 8																																																													
																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Profile 40x40 I-Type slot 8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Slot</td> <td></td> <td>8</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Mass</td> <td>m</td> <td>1,74</td> <td>Kg/m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Moment of Inertia</td> <td>ix</td> <td>9,00</td> <td>cm⁴</td> </tr> <tr> <td>ly</td> <td>9,00</td> <td>cm⁴</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Section modulus</td> <td>Wx</td> <td>4,50</td> <td>cm³</td> </tr> <tr> <td>Wy</td> <td>4,50</td> <td>cm³</td> </tr> <tr> <td>Surface</td> <td>A</td> <td>4,46</td> <td>cm²</td> </tr> </tbody> </table>		Profile 40x40 I-Type slot 8				Slot		8	mm	Mass	m	1,74	Kg/m	Moment of Inertia	ix	9,00	cm ⁴	ly	9,00	cm ⁴	Section modulus	Wx	4,50	cm ³	Wy	4,50	cm ³	Surface	A	4,46	cm ²	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Profile 40x80L I-Type slot 8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Slot</td> <td></td> <td>8</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Mass</td> <td>m</td> <td>3,04</td> <td>Kg/m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Moment of Inertia</td> <td>ix</td> <td>16,60</td> <td>cm⁴</td> </tr> <tr> <td>ly</td> <td>69,54</td> <td>cm⁴</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Section modulus</td> <td>Wx</td> <td>8,30</td> <td>cm³</td> </tr> <tr> <td>Wy</td> <td>17,38</td> <td>cm³</td> </tr> <tr> <td>Surface</td> <td>A</td> <td>11,38</td> <td>cm²</td> </tr> </tbody> </table>		Profile 40x80L I-Type slot 8				Slot		8	mm	Mass	m	3,04	Kg/m	Moment of Inertia	ix	16,60	cm ⁴	ly	69,54	cm ⁴	Section modulus	Wx	8,30	cm ³	Wy	17,38	cm ³	Surface	A	11,38	cm ²
Profile 40x40 I-Type slot 8																																																															
Slot		8	mm																																																												
Mass	m	1,74	Kg/m																																																												
Moment of Inertia	ix	9,00	cm ⁴																																																												
	ly	9,00	cm ⁴																																																												
Section modulus	Wx	4,50	cm ³																																																												
	Wy	4,50	cm ³																																																												
Surface	A	4,46	cm ²																																																												
Profile 40x80L I-Type slot 8																																																															
Slot		8	mm																																																												
Mass	m	3,04	Kg/m																																																												
Moment of Inertia	ix	16,60	cm ⁴																																																												
	ly	69,54	cm ⁴																																																												
Section modulus	Wx	8,30	cm ³																																																												
	Wy	17,38	cm ³																																																												
Surface	A	11,38	cm ²																																																												

Figura 14: Tipo de perfis utilizados e suas características mecânicas [24].

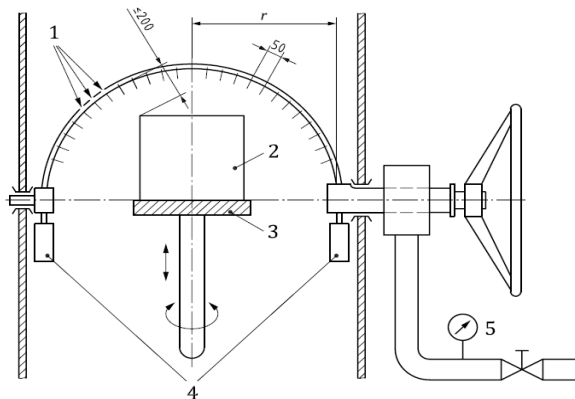
3.3 Sistemas mecânicos

3.3.1 Arcos

Para a realização dos ensaios IPx3, IPx4 e IPx4K é necessário a utilização de arcos de vários raios com dimensões predefinidas na norma (200, 400, 600, 800, 1600 mm) [7]. Estes arcos, tal como referido anteriormente, servem para simular jatos de água ao longo de uma superfície esférica.

Na figura 15 é apresentada a configuração do arco e as especificações normalizadas para estes ensaios.

As especificações necessárias a ter em conta para o dimensionamento de cada tipo de teste referido acima encontram-se na tabela 8.



Key

1 holes with diameter D

2 DUT

3 turntable / holder

4 counterweights

5 flow rate indicator and pressure gauge

$r = 200, 400, 600, 800$ or 1600 mm; select the smallest radius depending on the size of DUT.

$D = 0.4$ mm for tests regarding degrees of protection against water 3 and 4.

$D = 0.8$ mm for tests regarding degrees of protection against water 4K.

Speed of DUT from (1 to 3) r /min.

Figura 15: Representação para realização dos ensaios IPx3, IPx4 e IPx4K [7]

3. DIMENSIONAMENTO

Tipo de teste	Velocidade rotação amostra (rpm)	Amplitude do movimento do arco com a vertical (°)	Diâmetro dos furos (mm)	Ângulo com a vertical de furos abertos (°)	Caudal de água por nº de furos (l/min±5%)	Pressão de água (kPa)	Tempo de ensaio (minutos)
IPx3	1 a 3	± 60	0,4	± 60	0,1	± 80	10
IPx4		180 ± 20	0,4	± 90	0,1	± 80	
IPx4K		180 ± 20	0,8	± 90	0,6	± 400	

Tabela 8: Especificações dos ensaios IPx3, IPx4 e IPx4K [7].

Atualmente no mercado não se encontra nenhuma máquina capaz de realizar os ensaios com todos os tamanhos de arcos referidos para estes ensaios, sem ter que se alterar algum tipo de montagem. Assim, definiu-se como a melhor solução, trabalhar com os arcos em série, do maior (800 mm) para o mais pequeno (200 mm), e fazer passar a amostra até ao arco indicado para o ensaio.

Estes três tipos de ensaios apresentam elementos em comum, tabela 8, tais como:

- o diâmetro dos furos do teste IPx3 são iguais aos do teste IPx4;
- partilham todos as mesmas medidas de arco.

Os arcos são produzidos em tubo quadrado de aço inoxidável, dividido ao meio ao longo do seu comprimento, criando assim duas condutas independentes. Deste modo, criou-se um único arco para cada medida o que permite a sua utilização em cada tipo de teste, reduzindo-se os sistemas de arcos de 12 para 4.

Os pontos de injeção (0,4 e 0,8 mm), correspondem a bicos calibrados e roscados lado a lado. A distância entre cada par de bicos corresponde a 50 mm, figura 15.

Recorreu-se ao software Inventor da Autodesk, para obter as características físicas importantes para o projeto dos diversos componentes.

Na figura 16 pode-se observar o arco 800 com informação fornecida pelo software de CAD. No anexo 11 pode-se consultar os desenhos de todos os arcos.

De seguida serão expostas as metodologias utilizadas para a seleção de cada componente, apresentando-se como exemplo de seleção para o arco 800.



Figura 16: Informação relativa ao arco 800.

Diâmetro do veio de rotação

Para eixo de rotação, foi escolhido um varão de aço inoxidável existente em stock, de 12 mm, tendo-se confirmado a sua resistência aos esforços presentes.

Realizou-se uma análise dinâmica ao arco 800, como forma de obter o valor dos maiores esforços. Analisando o movimento, concluiu-se que as posições mais críticas são quando se pretender fazer um movimento de $+90^\circ$; -180° ; $+180^\circ$ segundo a vertical, figura 17.

Na zona de mudança de sentido de rotação ocorrem duas solicitações distintas: a primeira quando o arco se aproxima do ângulo pretendido devido à desaceleração e a segunda no momento de aceleração no sentido contrário após a paragem.

As forças de reação nos apoios terão as mesmas intensidades, devido ao facto do arco ser simétrico e de todas as forças no movimento estarem aplicadas no seu centro de massa, logo $R_{Z1}=R_{Z2}=R_T$.

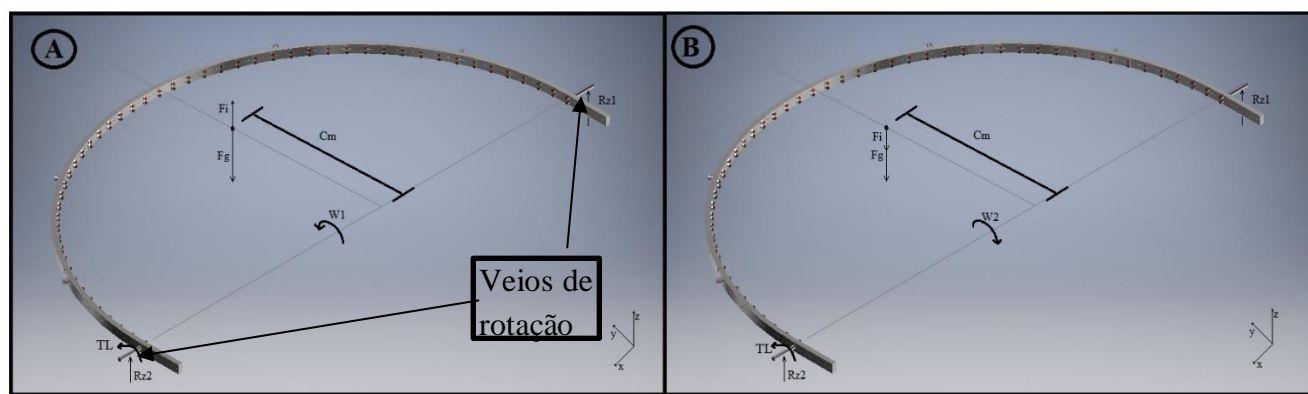


Figura 17: Diagrama de esforços para os arcos. A – Deslocação para a posição de 90° com a vertical (desaceleração); B – Movimentação para a posição contrária (aceleração).

Realizando a análise dinâmica obtém-se o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} \sum F_z = m \times a \\ \sum M_x = I \times \alpha \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -F_g + 2 \times R_T = m \times \alpha \times \frac{2}{\pi} \times Cm \\ F_g \times \frac{2}{\pi} \times R_{Med} + T_L = I \times \alpha \end{cases}$$

No caso da figura 17 B:

$$\begin{cases} -(5,1 \times 9,81) + 2 \times R_T = 5,1 \times 3,9 \times \left(\frac{2 \times 0,8075}{\pi} \right) \\ 5,1 \times 9,81 \times \left(\frac{2 \times 0,8075}{\pi} \right) + T_L = -1,6627 \times 3,9 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_T = 30,27 \quad [N] \\ T_L = -32,20 \quad [N.m] \end{cases}$$

Onde:

m – Massa do arco [kg];

a – Aceleração linear [assume-se $a=0 \text{ m/s}^2$];

F_D – Força dinâmica, resultante da aceleração. $F_D = m \times \alpha \times \left(\frac{2}{\pi} \times R_{Med} \right)$;

T_L – Binário requerido para o movimento [N.m];

R_T – Reação nos apoios [N].

3. DIMENSIONAMENTO

O que diferencia os dois casos é a direção da aceleração, tornando os valores de F_D e α positivos no caso “A” e negativos no “B”. Com esta análise obteve-se os valores de esforço apresentados na tabela 9.

	RT [N]	T _L [N.m]
A	19,22	-19,24
B	30,27	-32,20

Tabela 9: Resultados de esforços.

Na tabela 9, observam-se valores negativos de esforços, o que corresponde a um esforço no sentido oposto ao inicialmente assumido no diagrama de esforços.

Desta análise, verifica-se que a pior situação é o caso “B”. De seguida recorreu-se ao software Inventor, utilizando o método de elementos finitos para os esforços calculados anteriormente e uma pressão interna máxima de 0,4 MPa existente num dos tubos durante o ensaio.

Analisando a figura 18 verifica-se que a zona crítica é a união soldada entre o veio de rotação e o arco.

Na simulação pretende-se obter as respetivas tensões de Von Mises mínima, figura 18 “A”, e máxima, figura 18 “B”, na zona crítica.

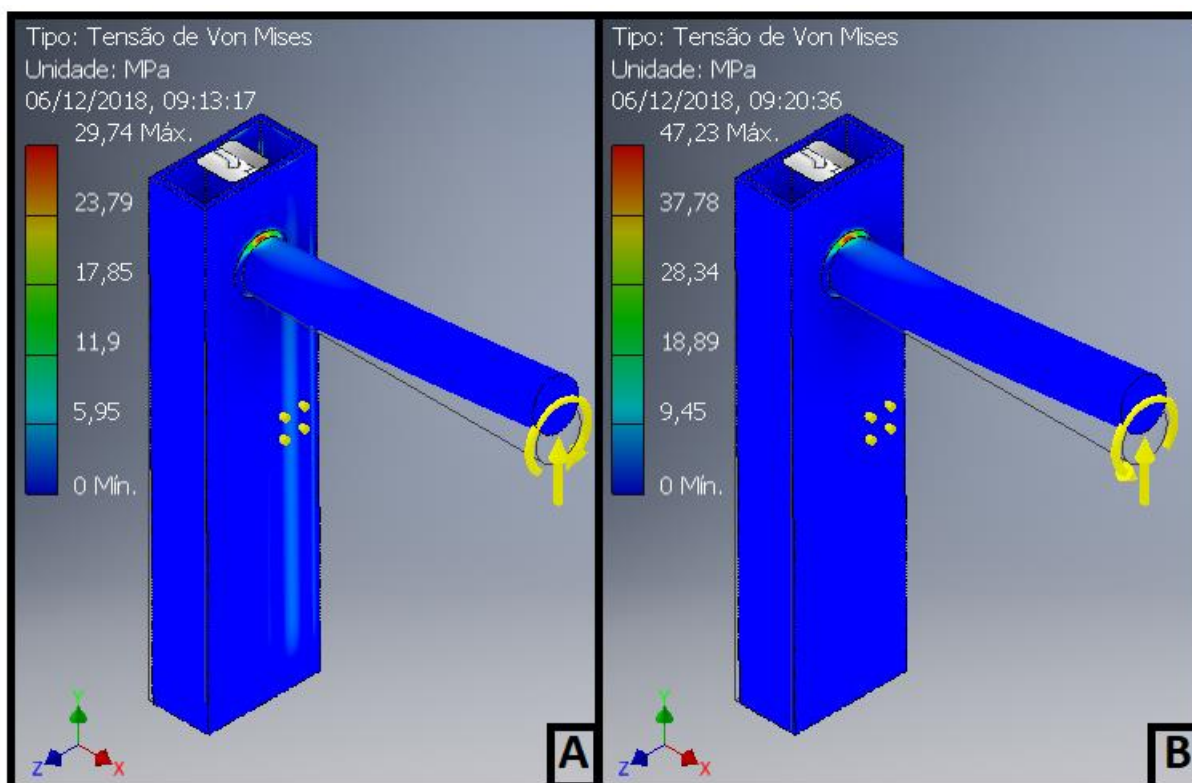


Figura 18: Resultados da simulação através do método de elementos finitos. A – Tensão de Von Mises para o caso “A”; B – Tensão de Von Mises para o caso “B”.

3. DIMENSIONAMENTO

Para uma obtenção mais correta das tensões obtiveram-se os valores máximos e mínimos das tensões normal e de corte ($\sigma_{min} = 30,07 \text{ MPa}$; $\sigma_{max} = 47,36 \text{ MPa}$; $\tau_{min} = 29,74 \text{ MPa}$; $\tau_{max} = 47,23 \text{ MPa}$).

De seguida calcularam-se as tensões médias e alternadas, recorrendo às seguintes expressões:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \Leftrightarrow \sigma_a = \frac{47,36 - 30,07}{2} \Leftrightarrow \sigma_a = 8,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \Leftrightarrow \sigma_{med} = \frac{47,36 + 30,07}{2} \Leftrightarrow \sigma_{med} = 39,52 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2} \Leftrightarrow \tau_a = \frac{0,274 - 0,164}{2} \Leftrightarrow \tau_a = 0,055 \text{ MPa}$$

$$\tau_{med} = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2} \Leftrightarrow \tau_{med} = \frac{0,274 + 0,164}{2} \Leftrightarrow \tau_{med} = 0,219 \text{ MPa}$$

Utilizando o critério de Von Mises calculou-se a tensão alternada média equivalente.

$$\sigma_{aVM} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{8,65^2 + 4,57^2} = 8,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{medVM} = \sqrt{\sigma_{med}^2 + 3\tau_{med}^2} = \sqrt{38,715^2 + 4,57^2} = 39,52 \text{ MPa}$$

Com esses valores elaborou-se uma representação gráfica para se representarem as diferentes tensões, figura 19.

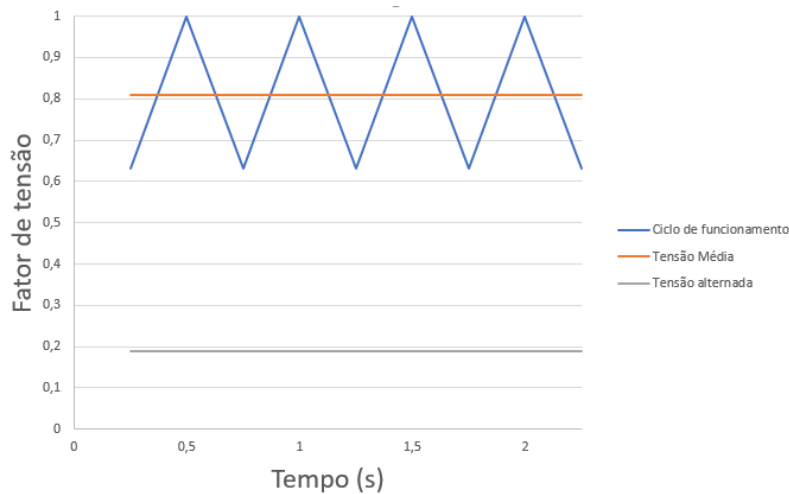


Figura 19: Gráfico de tensões para o carregamento dinâmico.

Com base nas propriedades do material utilizado, tabela 10, foi calculado o valor limite de resistência à fadiga.

Aço inoxidável 304	
Tensão limite (S_{ut}) [MPa]	568
Tensão de cedência (S_y) [MPa]	276

Tabela 10: Propriedades mecânicas aço inoxidável 304.

Para obtenção de (S'_e) quando o valor de tensão limite de um material é inferior a 1400 MPa, considera-se:

3. DIMENSIONAMENTO

$$S'_e = 0,5 \times S_{ut} \Leftrightarrow S'_e = 0,5 \times 568$$

$$S'_e = 284 \text{ [MPa]}$$

De seguida obtém-se os valores dos fatores:

k_a – Consultando a tabela 5, para o caso do acabamento superficial de laminado a quente;

$$k_a = aS_{ut}^b \Leftrightarrow k_a = 57,7 \times 568^{-0,718}$$

$$k_a = 0,608$$

k_b – Neste caso utilizou-se a expressão para diâmetro de veio ente 2,79 e 51 mm;

$$k_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} \Leftrightarrow k_b = \left(\frac{12}{7,62}\right)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,95$$

k_c – Utilizou-se o valor para o caso de existência de esforços axiais, pois neste caso não existe torção pura; **k_c = 0,85**

k_d – Ambiente de trabalho à temperatura ambiente; **k_d=1**;

k_e – Confiabilidade de 99,99%; **k_e=0,702**;

k_f - Considera-se igual a 1 devido à soldadura total do diâmetro do veio;

$$S_e = k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times S'_e$$

$$S_e = 0,608 \times 0,95 \times 0,85 \times 1 \times 0,702 \times 1 \times 284$$

$$S_e = 97,88 \text{ [MPa]}$$

De seguida fez-se a verificação da resistência à fadiga, obtendo-se o seguinte resultado:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$
$$\frac{8,645}{97,88} + \frac{39,52}{568,0} = \frac{1}{n}$$
$$n = 6,3$$

Calculado o valor de “n” verifica-se que é superior a 1, logo a condição está verificada.

Motor de rotação de Arcos

Na seleção dos motores de movimento dos arcos foi necessário definir algumas constantes, tais como:

- A massa dos arcos em funcionamento não será mais do que a indicada pelo software, onde se inclui a massa da água para os dois tubos cheios ao mesmo tempo;
- A velocidade de rotação utilizada para o projeto é de 15 rpm (1,57 rad/s) permitindo assim um intervalo superior ao requerido para um possível ajuste a algum ensaio específico.

No caso específico dos arcos o binário estático (T_L) depende neste caso da força que a ação da gravidade faz no arco, com isso utilizou-se para o cálculo o momento quando os arcos se encontram na situação mais desfavorável que é na horizontal, como está esquematizado na figura 20.

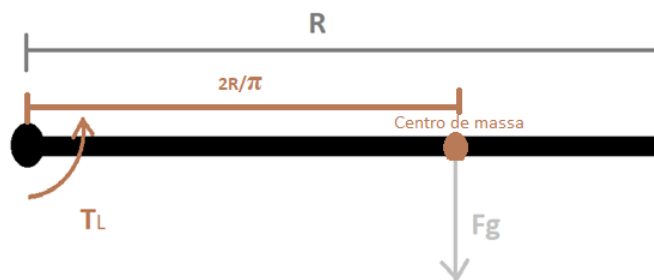


Figura 20: Representação simplificada do cálculo de T_L para os arcos.

Para o cálculo de T_L considerou-se a força gravítica aplicada no centro de massa, no caso de arcos é a uma distância de $2R/\pi$ [11] a partir do centro de rotação, como se pode confirmar consultando o anexo 12.

$$T_L = F_g \times \frac{2R_{Med}}{\pi}$$

$$T_L = (M \times g) \frac{2R_{Med}}{\pi}$$

$$T_L = (5,10 \times 9,81) \times \frac{2 \times 0,8075}{\pi}$$

$$T_L = 25,72 \text{ [N.m]}$$

Onde:

R_{Med} – Raio médio do arco, entre o raio exterior e o interior. [m];

M – Massa do arco [kg];

No caso do cálculo do binário de aceleração (T_A), consultou-se a tabela de inércias, anexo 12, e calculou-se da seguinte forma:

$$I_{arco \ de \ teste} = \frac{1}{2} \times M \times R_{Med.}^2$$

$$I_{arco \ de \ teste} = \frac{1}{2} \times 5,1 \times 0,8075^2$$

$$I_{arco \ de \ teste} = 1,663 \text{ [Kg.m}^2\text{]}$$

Como forma de obtenção da aceleração dos motores, com o perfil de velocidades da figura 6 utilizando a equação para o movimento angular, obtém-se a seguinte aceleração:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$1,57 = 0 + \alpha \times 0,4$$

$$\alpha = 3,9 \text{ [Rad/s}^2\text{]}$$

Onde:

t – Tempo de aceleração. Definido para estes motores $t=0,4s$;

ω – Velocidade nominal [Rad/s];

ω_0 – Velocidade inicial [Rad/s].

Obteve-se o valor de T_A :

$$T_A = I_{sist.mov.} \times \alpha$$

$$T_A = 1,663 \times 3,9$$

$$T_A = 6,48 \text{ [N.m]}$$

3. DIMENSIONAMENTO

Com os valores de T_L e T_A e utilizando o fator de segurança recomendado pelo fabricante, de 1,7, calcula-se o binário requerido (T_M).

$$T_M = (T_L + T_A) \times S_f$$

$$T_M = (25,72 + 6,48) \times 1,7$$

$$T_M = 54,74 \quad [N.m]$$

Na tabela 11 são apresentados os resultados obtidos para cada tipo de arco.

Designação do arco	M [kg]	R [m]	R _{ext} [m]	R _{Med} [m]	T _L [N.m]	I arco de teste [kg.m ²]	T _A [N.m]	T _M [N.m]
200	1,40	0,200	0,215	0,2075	1,81	0,0301	0,12	3,28
400	2,68	0,400	0,415	0,4075	6,82	0,2225	0,87	13,07
600	3,80	0,600	0,615	0,6075	14,42	0,7012	2,73	29,16
800	5,10	0,800	0,815	0,8075	25,72	1,6627	6,48	54,74

Tabela 11: Requisitos para escolha do sistema de movimento dos arcos de teste.

Realizou-se uma primeira seleção dos motores e caixas redutoras, como se demonstra pela seguinte expressão:

$$\frac{I_L}{I_0 \times i_{Min.}^2} \leq 5 \quad (10)$$

$$i_{Min.} \geq \sqrt{\frac{I_L}{5 \times I_0}} \Leftrightarrow i_{Min.} \geq \sqrt{\frac{1,6627}{5 \times 0,0003}}$$

$$i_{Min.} \geq 33,29$$

Obtido o valor da relação de transmissão mínimo requerido para o funcionamento correto do sistema, consultou-se o catálogo das caixas redutoras [25] e escolheu-se a caixa redutora com relação mais próxima da requerida ($i_{redutora}$).

Na tabela 12 expõem-se as inércias dos motores selecionados e as relações de transmissão standard das caixas redutoras para cada tipo de arco.

Designação do arco de teste	I _L arco de teste [kg.m ²]	I ₀ motor [kg.m ²]	i _{Min.}	i _{redutora}	Tamanho motor
200	0,0301	0,000030	14	16	Nema 23
400	0,2225	0,000048	30	32	Nema 23
600	0,7012	0,000300	22	25	Nema 34
800	1,6627	0,000300	33	40	Nema 34

Tabela 12: Resumo de inércias para a seleção dos motores de rotação dos arcos.

As velocidades e o binário de entrada na caixa redutora encontram-se calculadas nas equações seguintes considerando uma eficiência da caixa redutora, ef , de 95%:

3. DIMENSIONAMENTO

$$T_{IN} = \frac{T_{OUT}}{i \times ef}$$

$$T_{IN} = \frac{54,75}{40 \times 0,95}$$

$$T_{IN} = 1,44 \quad [N.m]$$

$$\omega_{IN} = \frac{\omega_{OUT} \times i}{ef}$$

$$\omega_{IN} = \frac{15 \times 40}{0,95}$$

$$\omega_{IN} \approx 632 \quad [rpm]$$

Onde:

T_{IN} – Binário de entrada na caixa redutora [N.m];

T_{OUT} – Binário de saída na caixa redutora [N.m];

ω_{IN} – Velocidade de rotação de entrada da caixa redutora [rpm];

ω_{OUT} – Velocidade de rotação de saída da caixa redutora [rpm];

ef – Eficiência da caixa redutora [95%].

Obtidos os valores de binário e de rotação à entrada da caixa redutora, verificou-se no catálogo se esses valores estavam dentro dos limites impostos pelo fabricante.

Por último com os valores de rotação e binário, verificou-se se os motores estavam corretamente selecionados, através da sua curva característica.

AP8918L9504-E - Stepper Motor with PG Fitting and Protection Class IP65 - NEMA 34

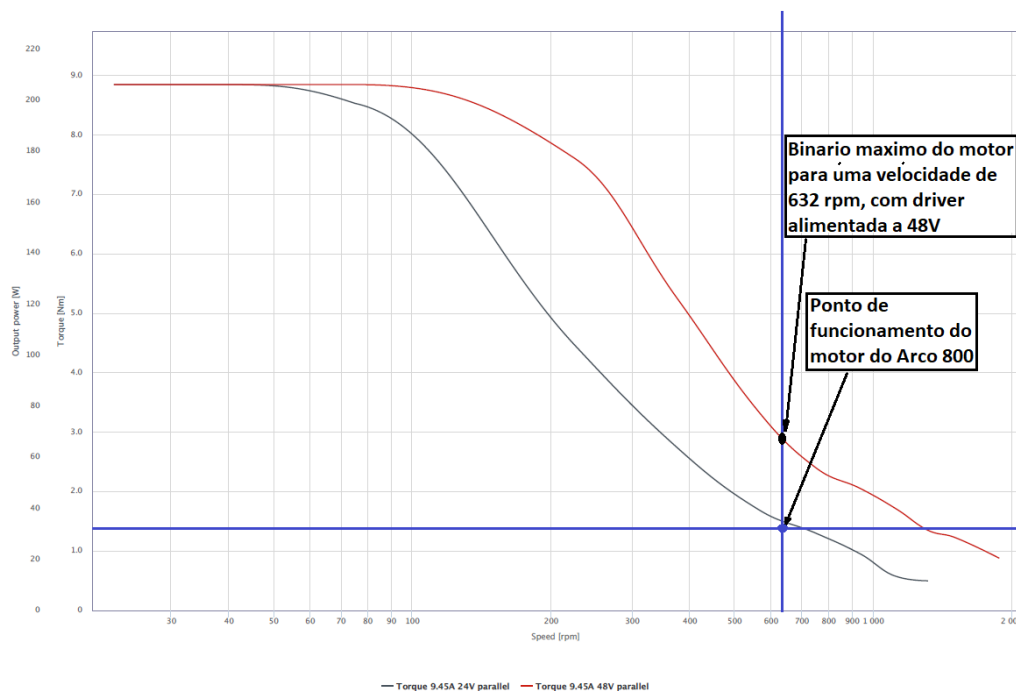


Figura 21: Verificação da seleção do motor AP8918L9504-E, para a rotação do arco 800 [13].

A verificação da seleção do motor, consiste em identificar o ponto de funcionamento na sua curva característica, figura 21, através da velocidade de rotação e binário requerido. Identificado esse ponto é necessário que este seja igual ou inferior a metade do binário a essa velocidade.

3. DIMENSIONAMENTO

De salientar a importância da seleção da alimentação dos drives de controlo, neste caso optou-se pela alimentação a 48V.

Na tabela 13 encontram-se os parâmetros de seleção para cada tipo de arco, bem como os motores e caixas redutoras seleccionadas.

Designação do arco	ω_{motor} [rpm]	T_{OUT} [N.m]	T_{IN} [N.m]	$T_{Motor\ max}$ à vel. rot. [N.m]	Referência Motor	Referência redutora
200	253	3,28	0,22	0,95	AS5918M 2804-E	GPLE40-2S-16-F56
400	505	13,07	0,43	1,30	AS5918L4 204-E	GPLE40-2S-32-F56
600	395	29,16	1,23	5,25	AP8918L9 504-E	GPLE60-2S-25-F87
800	632	54,74	1,44	2,90	AP8918L9 504-E	GPLE80-2S-40-F87

Tabela 13: Resumo de características na seleção do motor para cada arco.

Seleção de acoplamentos

Na seleção dos acoplamentos, recorreu-se aos valores de binários presentes na tabela 13.

Para a sua seleção utilizou-se o diâmetro do veio de rotação, 12mm, a gama de binários e as restrições impostas, de acordo com as equações seguintes:

$$T_{KN} = K \times T_{AS} \times \frac{J_{Masch}}{J_{Mot} + J_{Masch}}$$

$$T_{KN} = 1 \times 54,74 \times \frac{1,6627}{0,0003 + 1,6627}$$

$$T_{KN} = 54,74 \leq 75$$

Condição satisfeita

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{C_{Tdyn} \times \frac{J_{Mot} + J_{Masch}}{J_{Mot} \times J_{Masch}}}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{75 \times \frac{0,0003 + 1,6627}{0,0003 \times 1,6627}}$$

$$f_{res} = 79,58 \geq 0,25$$

Condição satisfeita

Feita a análise e comprovadas as restrições, construiu-se a tabela 14.

Designação do arco de teste	T_{KN} mínimo [N.m]	T_{KN} selecionado [N.m]	Tamanho do acoplamento	C_{TdyN} [$\frac{103Nm}{rad}$]	F_{res} [Hz]	Rotação [Hz]
200	3,37	5,5	PKN 4,5	6,5	74,11	0,25
400	12,77	22	PKN 18	8	65,00	0,25
600	27,47	36	PKN 30	35	54,37	0,25
800	54,74	75	PKN 60	75	79,58	0,25

Tabela 14: Escolha de acoplamentos para os arcos.

Verificação dos rolamentos

De forma a conseguir com facilidade rodar os arcos de teste e suportar as forças resultantes do movimento optou-se pela colocação de rolamentos com caixas padrão.

Devido as restrições geométricas da aplicação e do diâmetro do veio de rotação, foi escolhido o rolamento com chumaceira, YAR 203/12-2F para todos os arcos. A tabela 15 contém as propriedades fornecidas pelo fabricante.

Propriedade	Valor	Unidade
Carga dinâmica [C]	9,5	kN
Carga estática [C ₀]	4,75	kN
Diâmetro externo [D]	40	mm
Diâmetro do furo [d]	12	mm

Tabela 15: Característica do rolamento YAR 203 /12-2F.

Com esta escolha, foi verificado o tempo de vida real do rolamento para as condições de funcionamento do arco 800.

.....

▪ Carga equivalente no rolamento

$$\frac{f_0 \times F_a}{C_0} = \frac{16,3 \times 0,01}{4,75} = 0,034$$

$$e = 0,22$$

Verificando-se que: $\frac{f_0 \times F_a}{C_0} \leq e$ logo X=1 e Y=0.

Onde:

f₀ – Fator f₀ dependendo do diâmetro do furo e da gama do rolamento;

X - Fator de carga radial;

Y – Fator de carga axial.

De seguida foi calculada a carga equivalente no rolamento pela seguinte expressão:

$$P = X \times Fr + Y \times Fa$$

$$P = 1 \times 37,33 + 0 \times 10$$

$$P = 37,33 [N]$$

.....

▪ Tempo de vida normal do rolamento

$$\sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} = \frac{C}{P} \times f_n$$

$$L_h = 500 \times \left(\left(\frac{C}{P} \right) \times f_n \right)^p$$

$$L_h = 500 \times \left(\left(\frac{9,5}{0,037} \right) \times 1,3 \right)^3$$

$$L_h = 1,88 \times 10^{10} [horas]$$

.....

3. DIMENSIONAMENTO

Onde:

f_n – Fator de rotação. Devido à rotação de 15rpm consultando o catálogo obtém-se o valor de: $f_n=1,3$ para rolamentos de esferas;

p – Expoente de duração de vida. Rolamento de esferas tem o valor de 3;

L_h – Tempo de vida teórico esperado do rolamento [horas];

▪ Tempo real de vida

$$L_{hna} = a_1 \times a_{23} \times L_h$$

$$L_{hna} = 0,33 \times 0,13 \times 1,88 \times 10^{10} = 8,07 \times 10^8 \text{ [horas]}$$

Onde:

a_1 – Fator de probabilidade de falha. Considerando uma probabilidade de 2%, tem o valor de $a_1=0,33$;

a_{23} – Fator para determinação da duração de vida atingível.

f_n – Fator de rotação. Consultar tabela de fabricante;

p – Expoente de duração de vida. Num rolamento de esferas tem o valor de 3;

L_h – Tempo de vida teórico esperado do rolamento [horas].

Com: $d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{40+12}{2} = 26 \text{ [mm]}$ $n = 15 \text{ rpm}$	Obtém-se pela figura 8: $v_1 = 800 \text{ [mm}^2/\text{s]}$
Com uma temperatura de funcionamento de 30°C e para uma viscosidade a 40°C de 22 [mm ² /s]	Obtém-se uma viscosidade de serviço de: $v = 30 \text{ [mm}^2/\text{s]}$
-Valor de k: $k = \frac{v}{v_1} = \frac{30}{800} = 0,038$ -Valor de f_s : $f_s = \frac{C_0}{P_0} = \frac{4,75}{0,037} = 128,38$ Utiliza-se o valor de 12 visto ser o maior do gráfico correspondente.	Como é um rolamento fixo de esferas, o valor de $K_1 = 0$ e o valor de $K_2 = 5,5$. Obtém-se: $K = K_1 + K_2 = 5,5$
Utiliza-se os valores de K e k, recorre-se ao abaco da figura 9	Obtém-se: $a_{23} = 0,13$

Para a presente máquina pretende-se que tenha um tempo de vida mínimo de 9600 horas (4 horas por dias, 20 dias por mês e 10 anos de funcionamento), logo:

$$9600 \leq 8,07 \times 10^8 \text{ [horas]}$$

Condição satisfeita

Suportes para motores

Para fixar os motores e o sistema de movimento dos arcos à estrutura foram criados suportes em alumínio consoante as duas medidas de motores utilizada, na figura 22 pode-se ver os dois tipos de suportes. A dimensão dos suportes encontra-se no anexo 13.

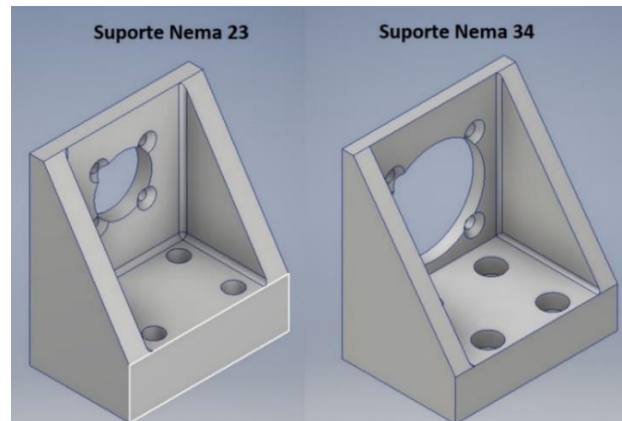


Figura 22: Suportes para motores e caixas redutoras de movimento dos arcos.

3.3.2 Movimento Horizontal

Sistema de movimentação horizontal

Como forma de se realizar o movimento horizontal, apresenta-se na figura 23 a solução encontrada. No anexo 17 estão representados todos os componentes em maior detalhe.

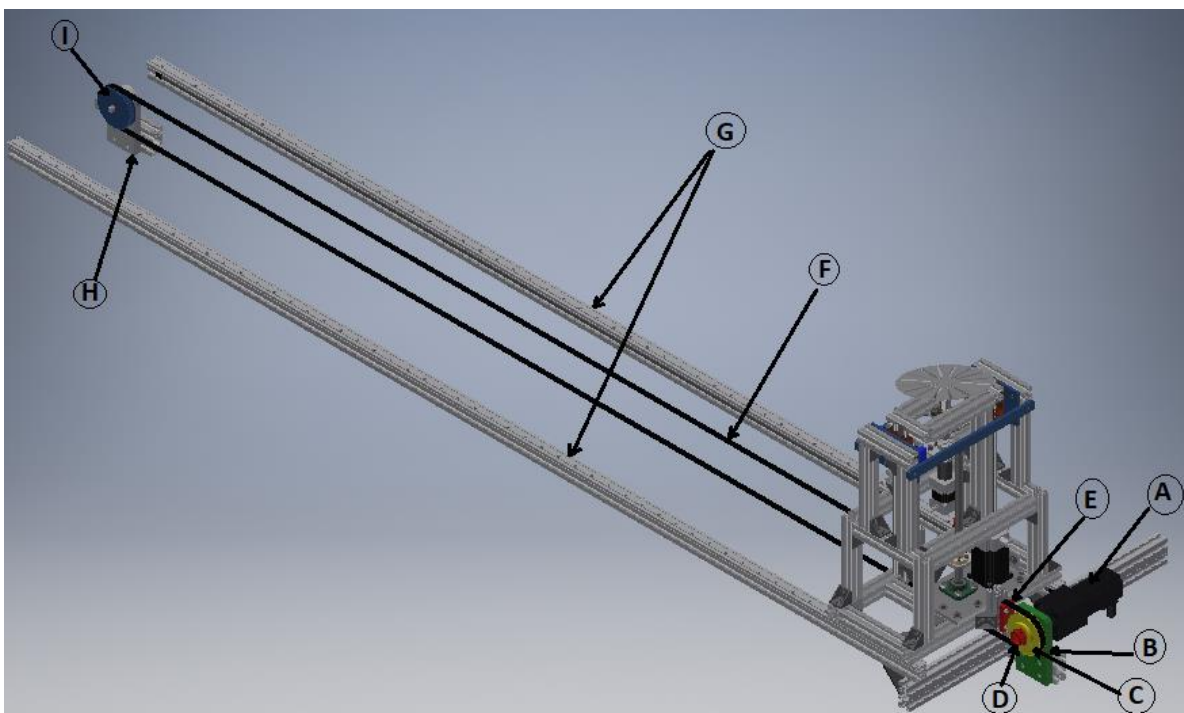


Figura 23: Movimentação horizontal. **A-**Servomotor; **B-** Suporte servomotor; **C-** Polia motora; **D-** Acoplamento; **E-** Grampo de fixação; **F-** Correia sincronizadora; **G-** Guias lineares; **I** - Polia de guiamento de correia; **H-** Suporte de polia de rolamento.

3. DIMENSIONAMENTO

Neste movimento definiu-se uma velocidade nominal de translação de 1 m/s com um tempo de aceleração máximo de 0,4 s.

Com esses dados, obtém-se o valor da aceleração:

$$v = v_0 + at$$

$$1 = 0 + a \times 0,4$$

$$a = 2,5 \quad [m/s^2]$$

No sistema de movimentação horizontal, optou-se pela colocação de guias lineares da marca Igus, para a sua seleção consultou-se o catálogo do fabricante [26] e utilizaram-se os valores que estão no anexo 14 e selecionou-se o modelo de guia NS-01-40 com os patins NW-11-40.

Motor para o movimento horizontal

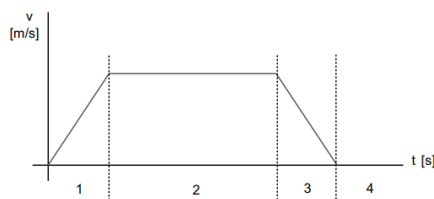
Como forma de realizar a movimentação horizontal, optou-se pela utilização de um servo motor, na sua seleção foi utilizada a metodologia de seleção utilizada pelo fabricante SEW [22].

Na tabela 16 são apresentadas as especificações pretendidas para o movimento horizontal.

Designação	Valor	Unid.
Massa em movimento [m]	75	kg
Diâmetro polia [d ₀]	114,59	m
Coeficiente de atrito [μ]	0,3	-
Velocidade máxima [v _{max}]	1	m/s
Aceleração máxima [a _{max}]	2,5	m/s ²
Tempo de ciclo [t _z]	3	s
Tempo de pausa [t _a]	0	s
Rendimento [η _l]	0,9	-

Tabela 16: Características do movimento horizontal.

- Representação do diagrama velocidade/tempo do movimento:



- Tempo de aceleração e desaceleração - Secções 1 e 3

$$t_1 = t_3 = \frac{V_{max}}{a_{max}}$$

$$t_1 = 0,4 \quad [s]$$

- Tempo de movimento constante – Secção 2

$$t_2 = t_z - t_p - t_1 - t_3 = 3 - 0 - 0,4 - 0,4$$

$$t_2 = 2,2 \quad [s]$$

- Binário estático para todas as secções.

$$M_{stat} = \frac{(m \times g \times \mu) \times \frac{d_0}{2}}{\eta_L} = \frac{(75 \times 9,81 \times 0,3) \times \frac{0,115}{2}}{0,9}$$

$$M_{stat} = 14,10 \text{ [N.m]}$$

- Binário de acionamento – Secção 1

$$M_{dyn1} = \frac{(m \times a) \times \frac{d_0}{2}}{\eta_L} = \frac{(75 \times 2,5) \times \frac{0,115}{2}}{0,9}$$

$$M_{dyn1} = 11,98 \text{ [N.m]}$$

- Binário de desaceleração – Secção 3.

$$M_{dyn3} = m \times a \times \frac{d_0}{2} \times \eta_L = 75 \times (-2,5) \times \frac{0,115}{2} \times 0,9$$

$$M_{dyn3} = -8,54 \text{ [N.m]}$$

- Binário máximo durante a aceleração – Secção 1

$$M_{max} = M_{stat} + M_{dyn1} = 11,98 + 14,10 = 26,08 \text{ [N.m]}$$

- Binário máximo na desaceleração – Secção 3

$$M_{max} = M_{stat} + M_{dyn3} = 30,17 + (-8,54)$$

$$M_{max} = 3,44 \text{ [N.m]}$$

- Velocidade de saída.

$$n_{amax} = \frac{V_{max}}{d_0 \times \pi} \times 60 = \frac{1}{0,115 \times \pi} \times 60$$

$$n_{amax} = 166,07 \text{ [rpm]}$$

- Relação de transmissão

Incluindo uma reserva de 10% da velocidade do motor.

Definindo a velocidade de rotação do motor em: $n_N = 3000 \text{ [rpm]}$

$$i = \frac{n_N \times 0,9}{n_{amax}} = \frac{3000 \times 0,9}{166,07}$$

$$i = 16,26$$



- Máxima velocidade de entrada

Relação de transmissão standard: $i=15$

$$n_{max} = n_{amax} \times i = 166 \times 15$$

$$n_{max} = 2491 \text{ [rpm]}$$

- Seleção da caixa

ECH	i	n_{epk} [1/min]	η [%]	M1;M3;M5-6			M2			M4			φ [°]
				a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2	
PSC322  2	15	6500	98	323.00	-1.023	0	325.00	-1.035	0	329.00	-1.062	0	-
	21	6500	98	336.00	-1.223	0	338.00	-1.231	0	341.00	-1.259	0	-
	25	6500	98	588.00	-2.956	0	595.00	-3.018	0	598.00	-3.056	0	-
ECH03													
ECH	i	M_{amax} [Nm]	M_{apk} [Nm]	$M_{aNotaus}$ [Nm]	n_{ak} [1/min]	J_G 10^{-4}kgm^2	c_T PSC [Nm/°]	F_{Ramax} PSC [N]	F_{Rapk} PSC [N]				
PSC322  2	15	62	86	129	467	0.94	8.2	2930	4000				
	21	62	86	129	333	0.86	8.1	3280	4000				
	25	74	91	136	280	0.92	9.0	3470	4000				

3. DIMENSIONAMENTO

Condições de seleção:

$$\begin{aligned} M_{max} &\leq M_{apk} \\ 3,44 &\leq 86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{max} &\leq n_{epk} \\ 2491 &\leq 6500 \end{aligned}$$

✓ **Condições verificadas**

▪ **Velocidade de saída média.**

$$n_{am} = \frac{n_1 \times t_1 + \dots + n_n \times t_n}{t_1 + \dots + t_n} = \frac{\frac{166,07}{2} \times 0,4 + 166,07 \times 2,2 + \frac{166,07}{2} \times 0,4}{0,4 + 2,2 + 0,4}$$

$$n_{am} = 143,93 \text{ [rpm]}$$

Condição de seleção:

$$\begin{aligned} n_{am} &\leq n_{ak} \\ 143,92 &\leq 467 \end{aligned}$$

✓ **Condição verificada**

▪ **Binário efetivo na caixa**

$$M_{aeff} = \sqrt[8]{\frac{n_1 \times t_1 \times |M_1|^8 + \dots + n_n \times t_n \times |M_n|^8}{n_1 \times t_1 + \dots + n_n \times t_n}}$$

$$M_{aeff} = \sqrt[8]{\frac{\frac{166,07}{2} \times 0,4 \times |26,08|^8 + 166,07 \times 2,2 \times |14,10|^8 + \frac{166,07}{2} \times 0,4 \times |3,44|^8}{\frac{166,07}{2} \times 0,4 + 166,07 \times 2,2 + \frac{166,07}{2} \times 0,4}}$$

$$M_{aeff} = 19,11 \quad [Nm]$$

Condição de seleção:

$$\begin{aligned} M_{aeff} &\leq M_{amax} \\ 19,11 &\leq 62 \end{aligned}$$

✓ **Condição verificada**

▪ **Binário térmico da caixa**

$$M_{ath} = \sqrt[1,2]{\frac{n_1 \times t_1 \times |M_1|^{1,2} + \dots + n_n \times t_n \times |M_n|^{1,2}}{n_1 \times t_1 + \dots + n_n \times t_n}}$$

$$M_{ath} = \sqrt[1,2]{\frac{\frac{166,07}{2} \times 0,4 \times |26,08|^{1,2} + 166,07 \times 2,2 \times |14,10|^{1,2} + \frac{166,07}{2} \times 0,4 \times |3,44|^{1,2}}{\frac{166,07}{2} \times 0,4 + 166,07 \times 2,2 + \frac{166,07}{2} \times 0,4}}$$

$$M_{ath} = 14,35 \text{ [Nm]}$$

Fatores para a montagem tipo M1:

$$\begin{aligned} a_0 &= 613 \\ a_1 &= -3,568 \\ a_2 &= 0 \end{aligned}$$

$$M_{Them} = a_0 + a_1 \times n_{am} + \frac{a_2}{n_{am}^{1,2}}$$

$$M_{Them} = 613 + (-3,568) \times 143,93 + \frac{0}{67,28^{1,2}}$$

$$M_{Them} = 99,46 \text{ N.m}$$

Condição de seleção:

$$M_{ath} \leq M_{then}$$

$$14,35 \leq 99,46$$

✓ **Condição verificada**

▪ **Cálculo carga suspensa**

$$F_{rmax} = \frac{M_{max}}{\frac{d_a}{2}} \times f_z = \frac{26,08}{\frac{0,115}{2}} \times 2,5$$

$$F_{rmax} = 1133,9 \text{ [N]}$$

f_z – Fator devido ao tipo de sistema acoplado. Correia dentada $f_z = 2,5$

Condição de seleção:

$$F_{Rmax} \leq F_{Rapk}$$

$$1133,9 \leq 4000$$

✓ **Condição verificada**

▪ **Cálculo força de rolamento**

$$M_{akub} = \sqrt[3]{\frac{n_1 \times t_1 \times |M_1|^3 + \dots + n_n \times t_n \times |M_n|^3}{n_1 \times t_1 + \dots + n_n \times t_n}}$$

$$M_{akub} = \sqrt[3]{\frac{\frac{166,07}{2} \times 0,4 \times |26,08|^3 + 166,07 \times 2,2 \times |14,10|^3 + \frac{166,07}{2} \times 0,4 \times |3,44|^3}{\frac{166,07}{2} \times 0,4 + 166,07 \times 2,2 + \frac{166,07}{2} \times 0,4}}$$

$$M_{akub} = 15,52 \text{ [N.m]}$$

$$F_{rkub} = \frac{M_{akub}}{\frac{d_a}{2}} \times f_z = \frac{15,52}{\frac{0,115}{2}} \times 2,5$$

$$F_{rkub} = 674,78 \text{ [N]}$$

Condição de seleção:

$$F_{Rkub} \leq F_{Rmax}$$

$$674,78 \leq 2930$$

✓ **Condição verificada**

▪ **Binário de carga- Seções 1 a 3**

Seção 1:

$$M_{emax1} = \frac{M_{dyn1}}{i \times \eta_G} = \frac{26,08}{15 \times 0,98}$$

$$M_{emax1} = 1,77 \text{ [Nm]}$$

Seção 2:

$$M_{emax2} = \frac{M_{stat}}{i \times \eta_G} = \frac{14,10}{15 \times 0,98}$$

$$M_{emax1} = 0,96 \text{ [Nm]}$$

3. DIMENSIONAMENTO

Secção 3:

$$M_{emax3} = \frac{M_{dyn3}}{i \times \eta_G} = \frac{3,44}{15 \times 0,98}$$

$$M_{emax3} = 0,23 \text{ [Nm]}$$

- Determinação preliminar do motor

Referencia motor: CMP63M

n_N rpm	Motor	M_0 Nm	I_0 A	M_{pk} Nm	I_{max} A	M_{OVR} Nm	I_{OVR} A	m kg	J_{mot} 10^{-4} kgm^2
3000	CMP63S	2.9	3.61	11.1	21.65	-	-	4.0	1.15
	CMP63M	5.3	6.35	21.4	38.1	-	-	5.7	1.92
	CMP63L	7.1	8.76	30.4	52.59	-	-	7.5	2.69
	CMP71S	6.4	8.7	19.2	44	8.7	11.8	7	3.04

- Determinar relação de inercias

$$J_{ext} = 91,2 \times m \times \left(\frac{V_{max}}{\eta_{max}}\right)^2 + J_G = 91,2 \times 75 \times \left(\frac{1}{2491}\right)^2 + 0,94 \times 10^{-4}$$

$$J_{ext} = 0,001 \quad [\text{kgm}^2]$$

$$k = \frac{J_{ext}}{J_{motor}} = \frac{0,0012}{1,92 \times 10^{-4}}$$

$$k = 6,2$$

Condição de selecção:

$$k \leq 15$$

$$6,2 \leq 15$$

✓ **Condição verificada**

- Binário de aceleração ou desaceleração do motor

$$M_{Eigem} = (J_G + J_{Motor}) \times \frac{n_{max}}{9,55 \times t} = (0,94 \times 10^{-4} + 1,92 \times 10^{-4}) \times \frac{2491}{9,55 \times 0,4}$$

$$M_{Eigem} = 0,186 \text{ [Nm]}$$

- Binário máximo do motor- Secções 1 e 3

Secção 1:

$$M_{t1} = M_{emax1} + M_{Eigem} = 1,77 + 0,186$$

$$M_{t1} = 1,956 \text{ [Nm]}$$

Secção 3:

$$M_{t3} = M_{emax3} + M_{Eigem} = 0,23 + 0,186$$

$$M_{t1} = 0,416 \text{ [Nm]}$$

▪ Binário efetivo no motor

$$M_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t_z}(M_1^2 \times t_1 + \dots + M_n^2 \times t_n)} = \sqrt{\frac{1}{3}(1,956^2 \times 0,4 + 0,96^2 \times 2,2 + 0,416^2 \times 0,4)}$$

$$M_{eff} = 1,2 \text{ [Nm]}$$

▪ Efeito térmico na velocidade

$$n_{eff} = \sqrt[1,5]{\frac{n_1^{1,5} \times t_1 + \dots + n_n^{1,5} \times t_n}{t_z}}$$

$$n_{eff} = \sqrt[1,5]{\frac{\left(\frac{2491}{2}\right)^{1,5} \times 0,4 + (2491)^{1,5} \times 2,2 + \left(\frac{2491}{2}\right)^{1,5} \times 0,4}{3}}$$

$$n_{eff} = 2195,8 \text{ [rpm]}$$

Condições de seleção:

$$M_{eff} \leq M_{Nem}$$

$$1,2 \leq 5,3$$

$$M_{\max Motor} \leq M_{pk}$$

$$1,956 \leq 21,4$$

✓ Condições verificadas

▪ Pontos de funcionamento do motor

Dynamic and thermal limit characteristic curve for CMP63M $n_N=3000 \text{ min}^{-1}$

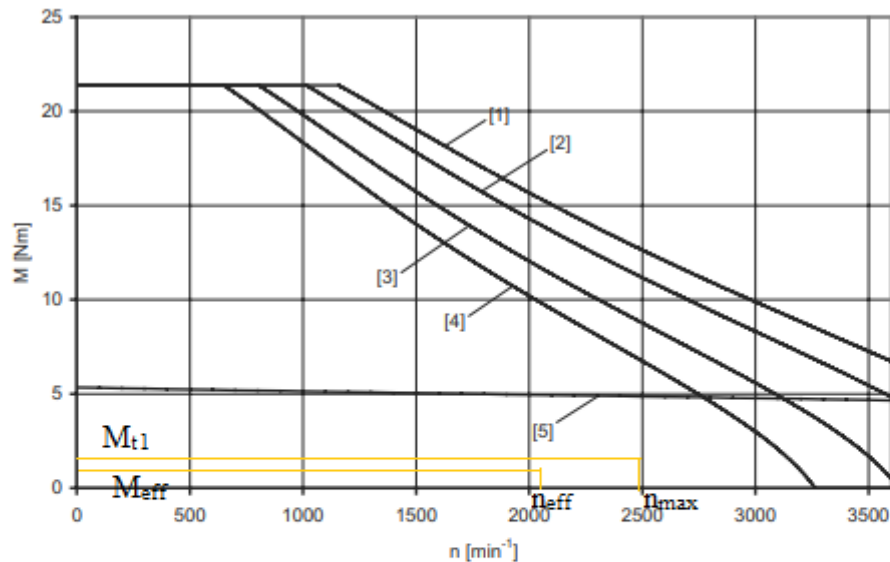


Figure 28: Dynamic and thermal limit characteristic curve for CMP63M $n_N=3000 \text{ min}^{-1}$

- [1] $M_{dynamic} (n) 500 \text{ V}$
- [2] $M_{dynamic} (n) 460 \text{ V}$
- [3] $M_{dynamic} (n) 400 \text{ V}$
- [4] $M_{dynamic} (n) 360 \text{ V}$
- [5] $M S1_{thermal} (derating)$

3. DIMENSIONAMENTO

▪ Cálculo da resistência de travagem

Pico de travagem – *Secção 3*

$$P_{Br_pk} = \frac{M_{tn} \times n_{tn} \times \eta_{Last}}{9550} = \frac{0,416 \times 2491 \times 0,9}{9550}$$

$$P_{Br_pk} = 0,10 \text{ [kW]}$$

Potência de travagem simplificada

$$P_{Br} = \frac{M_{tn} \times n_{tn} \times \eta_{Last}}{9550} = \frac{0,416 \times \frac{2491}{2} \times 0,9}{9550}$$

$$P_{Br_pk} = 0,05 \text{ [kW]}$$

Potência efetiva de travagem

$$P_{Br_eff} = \frac{P_{Br} \times t_3}{t_z} = \frac{0,05 \times 0,4}{3}$$

$$P_{Br_eff} = 0,007 \text{ [kW]}$$

Correia sincronizadora

Na seleção da correia utilizaram-se as características descritas para a seleção do servo motor, apresentando-se as características do movimento na tabela 17.

Como guia de seleção recorreu-se ao catálogo técnico da Optibelt [27] sendo seguidos os seguintes passos:

Designação	Valor	Unid.
Massa em movimento [m]	75	kg
Velocidade [v]	1	m/s
Binário de arranque [M _A]	26,08	Nm
Rotação de entrada [n ₁]	78	rpm
Operação diária máxima	4	horas
Start/Stop por dia	100	-
Distancia necessária [a]	3000	mm
Diâmetro polia [d ₀]	114,59	mm
Motor primário	-Servo motor	
Tipo de arranque	-Sem carga	
Tipo de carga	-Sem forças externas	
Condições ambientais	-Temperatura ambiente -Contaminação com água	

Tabela 17: Dados para seleção da correia sincronizadora.

▪ Fatores de serviço

$$C_2 = C_0 + C_6 + C_8 = 1,6 + 0,2 + 0,3$$

$$C_2 = 2,1$$

C₀ – Fator de vida básico. Considerando um funcionamento menor que 16h diárias, estável e movimento médio. **C₀=1,6**

C₆ – Fator de correção de polia e correia. **C₆=0,2**

C_8 – Fator de carga. Até 1,5 vezes o torque nominal. $C_8=0,3$

- Binário teórico de projeto

$$M_{Bth} = C_2 \times M_{Abth} = 2,1 \times 26,08$$

$$M_{Bth} = 54,77 \text{ [Nm]}$$

- Velocidade efetiva da correia

$$v_{eff} = \frac{d_{w1} \times n_1}{19100} = \frac{114,59 \times 166}{19100}$$

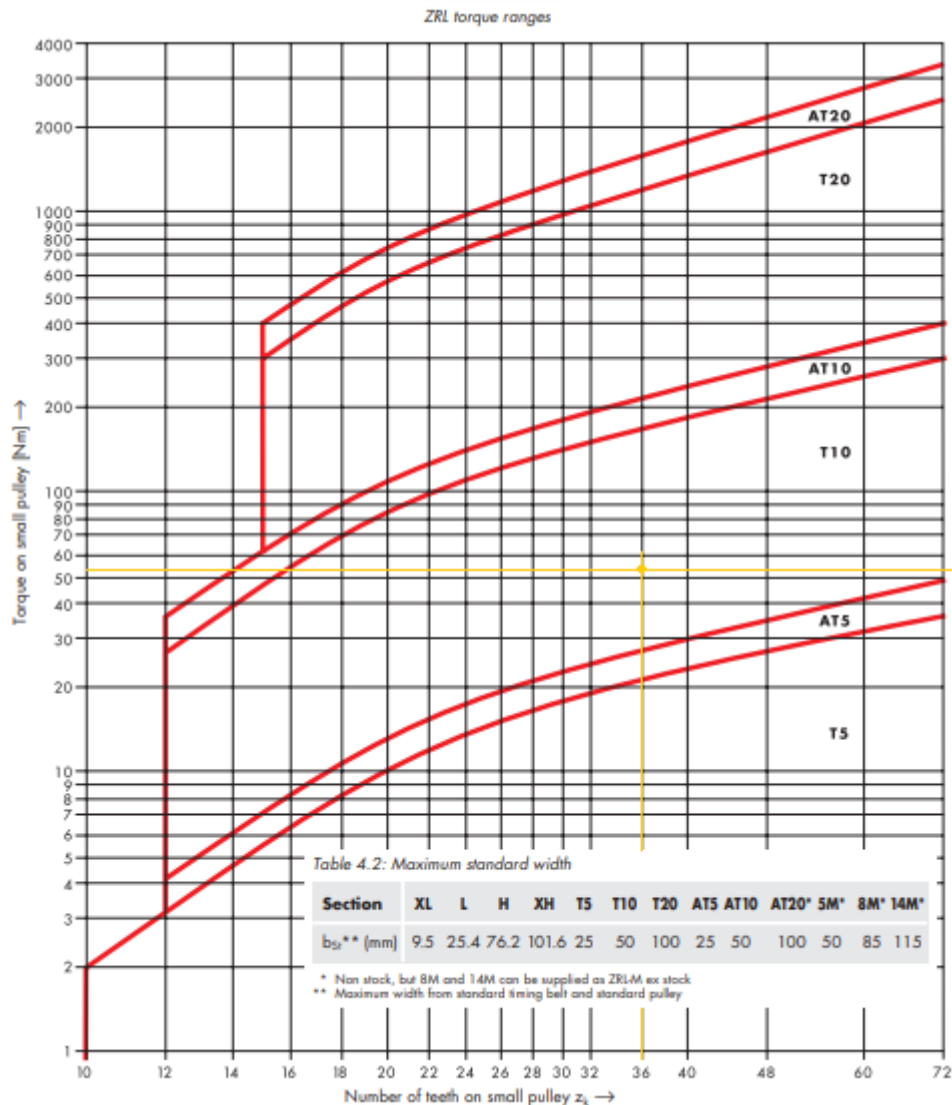
$$v_{eff} \cong 1 \text{ [m/s]}$$

- Seleção da secção da correia

Recorrendo ao gráfico de binário/velocidade para $z_{\max}=12$.

Binário = 54,77 [Nm]

Dentes da polia = 36



Correia tipo: T10

Propriedades: $b_{st}=50 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$

3. DIMENSIONAMENTO

▪ Binário transmissível pela correia

Number of teeth on the small pulley z_1	M_{spec} (Nm/cm)												
	XL	L	H	XH	T5	T10	T20	AT5	AT10	AT20*	5M*	8M*	14M
35	0.67	1.81	2.72	10.53	0.67	2.64	10.53	0.80	3.43	13.69	0.97	2.77	8.21
36	0.69	1.87	2.80	10.83	0.69	2.72	10.83	0.83	3.54	14.08	1.00	2.86	8.45

$$M_{spec} = M_{spec}(T10, z_1 = 36)$$

$$M_{spec} = 2,72 \quad [Nm/cm]$$

▪ Tamanho teórico e standard da correia

$$b_{th} = \frac{M_B \times 10}{M_{spec} \times z_e} = \frac{54,77 \times 10}{2,72 \times 36}$$

$$b_{th} = 5,59 \quad [mm]$$

Condição de seleção:

Aramid tension cord ZRL-M; ZRL-V**	Geometry		Steel tension cord ZRL-M; ZRL-V on request
Belt designation	Pitch t (mm)	Standard width b_{st} (mm)	Belt designation
10 T10	10.0	10.0	10 T10 - St*
12 T10	10.0	12.0	12 T10 - St
16 T10	10.0	16.0	16 T10 - St
20 T10	10.0	20.0	20 T10 - St

$$b_{st} \geq b_{th}$$

$$10 \geq 5,59$$

▪ Fator atual de serviço

$$c_{2vorh} = c_2 \times \frac{b_{st}}{b_{th}} = 2,1 \times \frac{10}{5,59}$$

$$c_{2vorh} = 3,76$$

▪ Configuração do tensionamento da correia

Fator de tensão c_v

$$c_v = \frac{c_2 - 1}{2} + 0,9 = \frac{3,76 - 1}{2} + 0,9$$

$$c_v = 2,28$$

Condição: $c_v \geq 1,05$

$$2,28 \geq 1,05$$

✓ **Condição verificada**

▪ Comprimento da correia

$$L_{wth} = 2 \times a + z_1 \times t = 2 \times 3000 + 36 \times 10$$

$$L_{wth} = 6360 \text{ [mm]}$$

$$z_R = \frac{L_{wth}}{t} = \frac{6360}{10}$$

$$z_R = 636$$

$$L_{wnom} = z_R \times t = 636 \times 10$$

$$L_{wnom} = 6360 \text{ [mm]}$$

▪ Cálculo da distância de tensionamento

$$x_v = \frac{c_v \times 0,001 \times L_{wnom}}{C_2 \times 2} = \frac{2,28 \times 0,001 \times 6360}{3,76 \times 2}$$

$$x_v = 1,93 \text{ [mm]}$$

Como forma de guiar a correia na extremidade oposta ao motor, incorporou-se um rolamento numa das polias dentadas. Para a seleção desse rolamento foi consultado o catálogo digital da SKF [30]. O relatório dessa seleção é apresentado no anexo 16.

Na tabela 18 é apresentado o material necessário para o sistema de movimento horizontal.

Material necessário sistema horizontal		
Qt.	Designação	Referência
1	Correia sincronizadora	16T10/6360 St
2	Grampos CP	CP-16/T10 Tipo A-1
2	Polias	31/T10/36-2 6F
1	Rolamento	3200 A-2RS1
1	Acoplamento polia	6202815UP

Tabela 18: Resumo do material para o sistema de correia do movimento horizontal.

3.3.3 Movimento Vertical

Sistema de movimento vertical

Para que se possam realizar todos os ensaios, é necessário que as amostras sejam movimentadas na vertical de forma automática, colocando-se na posição pretendida. Nesse sentido, foi projetado um sistema de movimentação linear através da utilização de um motor de passo, polias dentadas, correia sincronizadora e fuso roscado.

Na criação da estrutura de movimento vertical, utilizaram-se barras standard de alumínio extrudido, desenharam-se e maquinaram-se algumas peças não disponíveis no mercado obtendo-se a solução apresentada na figura 24.

Todos os dados, dimensões e cotagens das peças não standard referentes a essa estrutura estão disponíveis no anexo 19.

3. DIMENSIONAMENTO

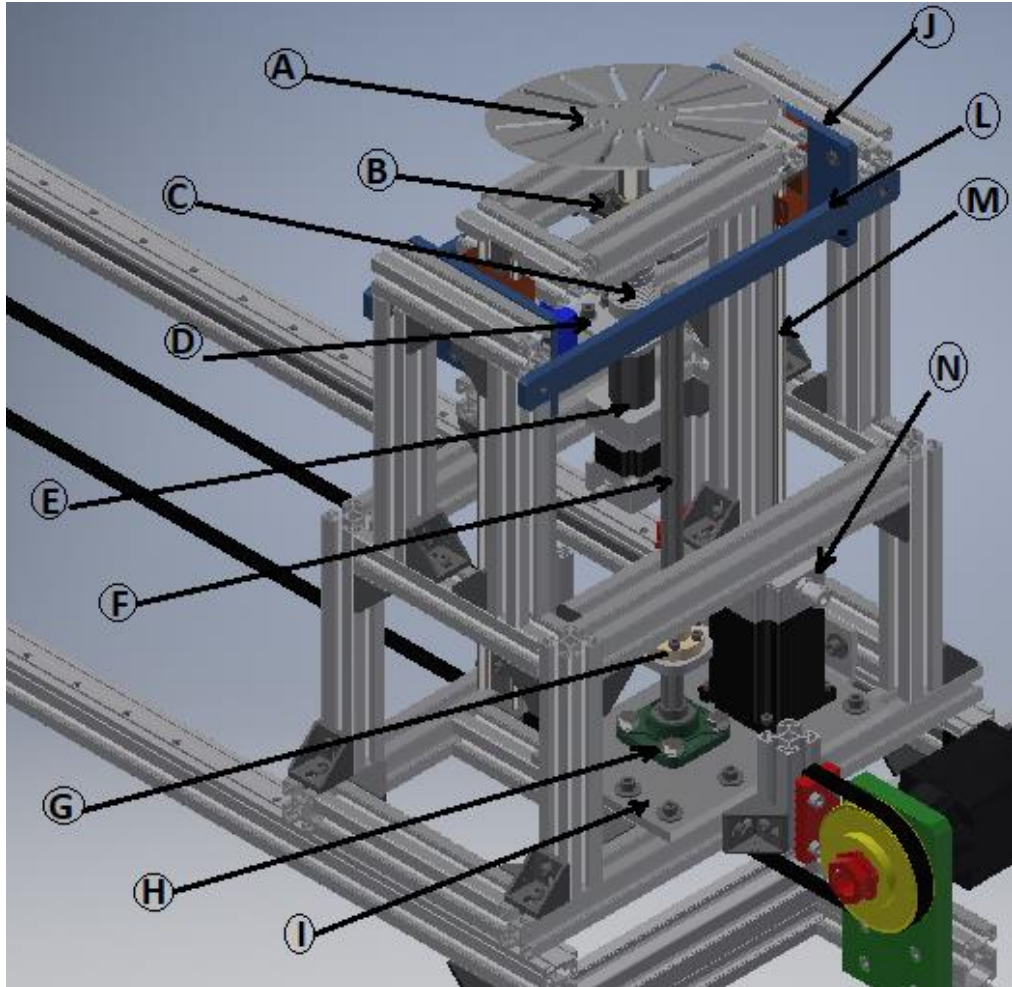
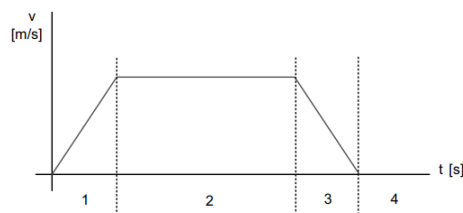


Figura 24: Estrutura de movimento vertical. **A** – Mesa de amostras; **B** -Rolamento de suporte de veio de rotação; **C** – Acoplamento; **D** – Suporte motor de rotação; **E**- Motor de rotação; **F** – Fuso; **G** – Porca e suporte de porca; **H** – Chumaceira e rolamento de fuso; **I** – Suporte motor vertical; **J** – Suporte guias verticais; **L**- Barras de reforço; **M** – Guias verticais; **N** – Motor de movimento vertical.

Para a seleção dos componentes necessários ao movimento, utilizara-se as seguintes informações:

- Perfil de velocidades pretendido:



- Massa em movimento [m] = 55Kg
- Tempo de aceleração / desaceleração [t_1 e t_3] = 0,5 s
- Velocidade pretendida [v_v] = 1 m/s
- Coeficiente de atrito [μ] = 0,4
- Eficiência do movimento [η] = 0,9

- Diâmetro polia pequena [dp]= 37,06 mm
- Diâmetro polia grande [dg]= 113,45 mm
- Massa polia pequena[m_p] = 0,018 kg
- Massa polia grande [m_g] = 0,3 kg
- Passo fuso [p]= 0,06m

Calculou-se a aceleração do movimento, com o perfil de velocidades pretendido, obtendo-se o seguinte resultado:

$$v = v_0 + at$$

$$1 = 0 + a \times 0,5$$

$$a = 2,0 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Obteve-se a força de movimento vertical [F_v] através do equilíbrio dinâmico da estrutura, segundo o eixo y, representado na figura 25.

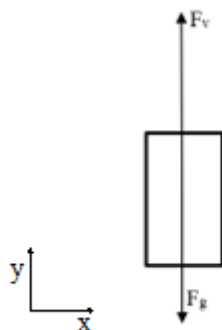


Figura 25: Diagrama simplificado de forças no movimento vertical.

Através do sistema de equações de equilíbrio dinâmico seguinte foi possível calcular a força vertical:

$$\sum F_y = m \cdot a \Leftrightarrow F_v - F_g = m \cdot a$$

$$F_v = F_g + m \cdot a \Leftrightarrow F_v = 55 \times 9,81 + 55 \times 2$$

$$F_v = 649,55 \text{ [N]}$$

Motor para o movimento vertical

Selecionou-se o motor de passo que mais se enquadra no tipo de movimento pretendido, utilizando os seguintes procedimentos:

▪ Binário estático

$$F_{est} = F_g = 55 \times 9,81$$

$$F_{est} = 539,55 \text{ [N]}$$

$$T_{est} = \frac{F_{est} \times p}{2 \times \pi \times \eta} = \frac{539,55 \times 0,06}{2 \times \pi \times 0,9}$$

$$T_{est} = 5,72 \text{ [Nm]}$$

▪ Binário de aceleração - Secção 1

$$F_{dyn1} = m \times a = 55 \times 2$$

$$F_{dyn1} = 110 \text{ [N]}$$

3. DIMENSIONAMENTO

$$T_{dyn1} = \frac{F_{dyn1} \times p}{2 \times \pi \times \eta} = \frac{110 \times 0,06}{2 \times \pi \times 0,9}$$
$$T_{dyn1} = 1,17 \quad [Nm]$$

- Binário de desaceleração - Secção 3

$$F_{dyn3} = m \times (-a) = 55 \times (-2)$$
$$F_{dyn3} = -110 \quad [N]$$
$$T_{dyn3} = \frac{F_{dyn3} \times p}{2 \times \pi \times \eta} = \frac{(-110) \times 0,06}{2 \times \pi \times 0,9}$$
$$T_{dyn3} = -1,17 \quad [Nm]$$

- Binário máximo de aceleração – Secção 1

$$T_{max1} = T_{est} + T_{dyn1} = 5,72 + 1,17$$
$$T_{max1} = 6,89 \quad [Nm]$$

- Binário máximo de desaceleração – Secção 3

$$T_{max3} = T_{est} + T_{dyn3} = 5,72 + (-1,17)$$
$$T_{max3} = 4,55 \quad [Nm]$$

- Cálculo da relação de transmissão.

$$i = \frac{d_g}{d_p} = \frac{113,45}{37,06}$$
$$i = 3$$

- Binário requerido

Como o pior caso é em aceleração, considera-se o binário requerido como:

$$T_M = \frac{T_{max1}}{i} \times Sf = \frac{6,89}{3} \times 1,7$$
$$T_M = 3,9 \quad [Nm]$$

- Velocidade de rotação do motor

$$\omega_m = \frac{v_v \times 60}{p \times i \times \eta} = \frac{1 \times 60}{0,06 \times 3 \times 0,9}$$
$$\omega_m = 370,37 \quad [rpm]$$

- Inércia do sistema vertical

Carga em movimento com fuso:

$$I_v = m \times \left(\frac{p}{2 \times \pi} \right) = 55 \times \left(\frac{0,06}{2 \times \pi} \right)^2$$
$$I_v = 0,005 \quad [kg.m^2]$$

Polia pequena:

$$I_p = \frac{\pi}{32} \times m_p \times d_p^2 = \frac{\pi}{32} \times 0,018 \times 0,03706^2$$
$$I_p = 2,427 \times 10^{-6} \quad [kg.m^2]$$

Polia grande:

$$I_g = \frac{\pi}{32} \times m_g \times d_g^2 = \frac{\pi}{32} \times 0,300 \times 0,11345^2$$
$$I_p = 3,791 \times 10^{-6} \quad [kg.m^2]$$

Inércia total:

$$I_{sist} = I_v + I_p + I_g + I_M = 0,005 + 2,427 \times 10^{-6} + 3,791 \times 10^{-6}$$

$$I_{sist} = 0,005 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

Escolha preliminar de motor de rotação: AP8918L9504-E

Inércia do rotor [I_M]=0,0003 [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

- Relação de inércias

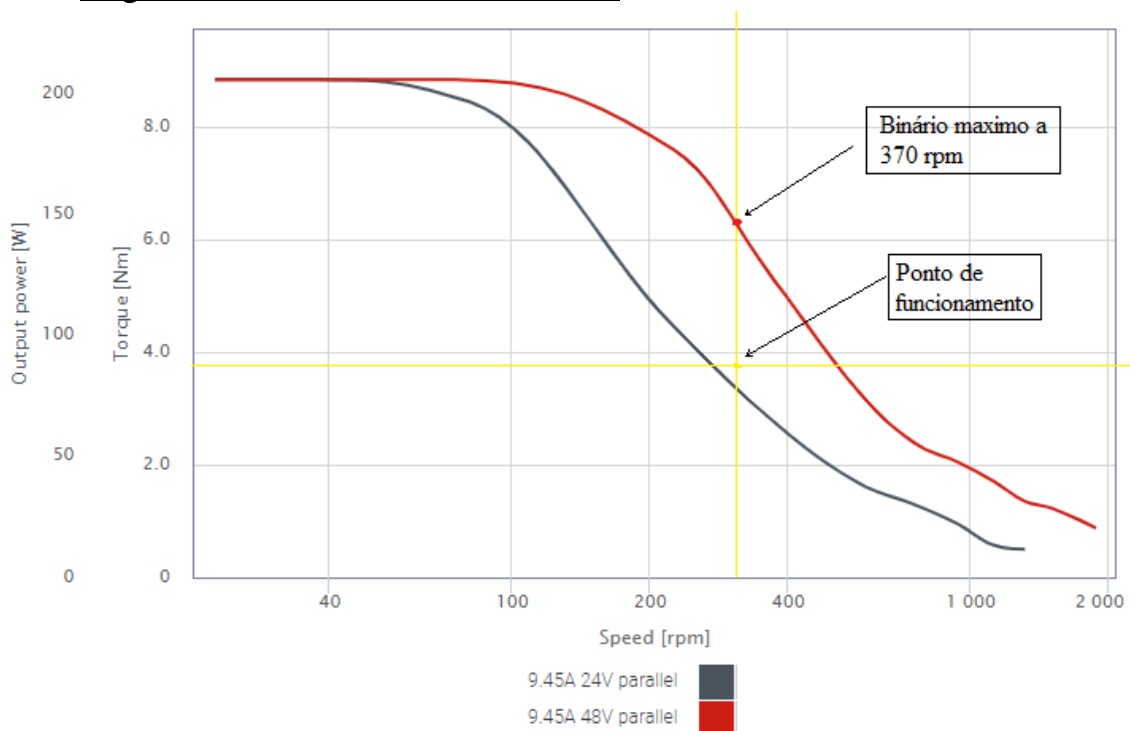
Condição:

$$\frac{I_{sist}}{I_{motor} \times i^2} \leq 5 \Leftrightarrow \frac{0,005}{0,0003 \times 3^2} \leq 5$$

$$1,85 \leq 5$$

✓ **Condição verificada**

- Regime de funcionamento do motor



Condição: $T_{motor}(\omega = 370rpm) > T_M$

$$6,3 > 3,9$$

✓ **Condição verificada**

- Verificação da força radial no motor

$$F_R = \frac{T_M}{(d_p/2)} = \frac{6,3}{(0,03706/2)}$$

$$F_R = 339,98 \quad [\text{N}]$$

Máxima força radial admissível [F_{Radm}] = 355 [N]

Condição: $F_{Radm} \geq F_R$

$$355 \geq 339,98$$

✓ **Condição verificada**

3. DIMENSIONAMENTO

▪ Verificação do binário de retenção

$$T_{\text{retrequerido}} = \frac{T_{\text{estat}}}{i \times \eta} = \frac{5,72}{3 \times 0,9}$$

$$T_{\text{retrequerido}} = 2,11 \text{ [Nm]}$$

$$\text{Condição: } T_{\text{Holding}} \geq T_{\text{retrequerido}}$$

$$9,33 \geq 2,11$$

✓ **Condição verificada, por esse motivo não necessita de travão magnético.**

Correia sincronizadora

Devido a restrições geométricas, optou-se pela utilização de uma correia sincronizadora entre duas polias dentadas, possibilitando a desmultiplicação do motor do movimento vertical.

Para a seleção da correia consultou-se o catálogo da Optibelt [33] para correias sincronizadoras fechadas. Como forma de síntese foram colocadas as características do movimento na tabela 19.

Designação	Valor	Unid.
Massa em movimento [m]	55	kg
Velocidade [v]	1	m/s
Binária polia motora [M ₁]	3,9	Nm
Binária polia movida [M ₂]	6,89	Nm
Rotação polia motora [n ₁]	370	rpm
Rotação polia movida [n ₂]	123	rpm
Operação diária máxima	20	horas
Start/Stop por dia	100	-
Distância necessária [a]	98,70±10	mm
Diâmetro polia motora [d _{w1}]	31,83	mm
Diâmetro polia movida [d _{w2}]	114,59	mm
Relação transmissão [i]	3	-
Motor primário	-Motor de passo	
Tipo de arranque	-Força gravítica	
Tipo de carga	-Sem forças externas	
Condições ambientais	-Temperatura ambiente -Contaminação com água	

Tabela 19 : Resumo de seleção de correia de movimento vertical.

Na seleção da correia foram realizados os seguintes passos:

▪ Fatores de serviço.

$$C_2 = C_0 + C_3 + C_6 = 1,6 + 0,2 + 0,3$$

$$C_2 = 1,7$$

C₀–Considerando um funcionamento menor que 16h diárias, estável e movimento médio. **C₀=1,3**

C₃– Fator de correção de velocidade. **C₃=0,2**

C₆– Fator de fadiga. Utilização entre 16 a 24h por dia **C₆=0,2**

- Potência requerida na polia motora

$$P_{motora} = M_1 \times \frac{n_1 \times 2 \times \pi}{60 \times \eta} = 3,9 \times \frac{370 \times 2 \times \pi}{60 \times 0,90}$$

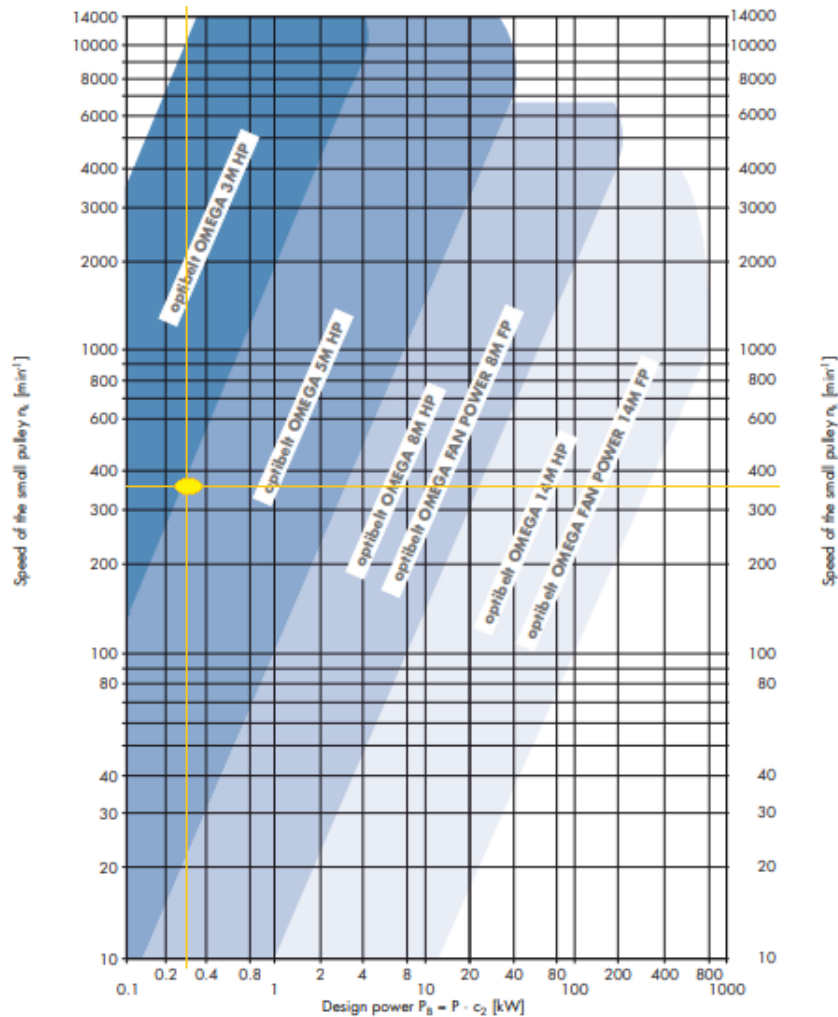
$$P_{motora} = 168 \text{ [W]}$$

- Potência de projeto

$$P_B = P_{motora} \times C_2 = 168 \times 1,7$$

$$P_B = 285,6 \text{ [W]}$$

- Seleção do perfil da correia



Perfil de correia utilizado: Optibelt OMEGA 5M HP

- Distância recomendada entre centros de rotação

$$0,5 \times (d_{w1} + d_{w2}) + 15 < a < 2 \times (d_{w1} + d_{w2})$$

$$0,5 \times (31,83 + 114,59) + 15 < a < 2 \times (31,83 + 114,59)$$

$$\text{Condição: } 88,21 < 98,76 < 292,84$$

✓ **Condição verificada**

3. DIMENSIONAMENTO

- Comprimento da correia

$$L_{wth} = 2 \times a + \frac{\pi}{2} \times (d_{w2} + d_{w1}) + \frac{(d_{w2} - d_{w1})^2}{4 \times a}$$
$$L_{wth} = 2 \times 98,76 + \frac{\pi}{2} \times (114,59 + 31,83) + \frac{(114,59 - 31,83)^2}{4 \times 98,76}$$
$$L_{wth} = 445 \text{ [mm]}$$

Comprimentos standard: $L_{wst} = 450 \text{ [mm]}$

- Distância real entre eixos

$$a_{nom} = k + \sqrt{k^2 - \frac{(d_{w2} - d_{w1})^2}{8}} = 55 + \sqrt{55^2 - \frac{(114,59 - 31,83)^2}{8}}$$
$$a_{nom} = 101,57 \text{ [mm]}$$

Onde:

$$k = \frac{L_{wst}}{4} - \frac{\pi}{8} \times (d_{w2} + d_{w1}) = \frac{450}{4} - \frac{\pi}{8} \times (114,59 + 31,83) = 55$$

Condição:

$$a - 10 \leq a_{nom} \leq a + 10$$
$$98,76 - 10 \leq a_{nom} \leq 98,76 + 10$$
$$88,76 \leq 101,57 \leq 108,76$$

✓ **Condição verificada**

- Ajustamento mínimo para a tensão

$$x = 0,004 \times a_{nom}$$
$$x = 0,004 \times 101,57$$
$$x = 0,406 \text{ [mm]}$$

- Número de dentes em contacto na polia motora

$$z_e = \frac{z_1}{6} \times \left(3 - \frac{d_{w2} - d_{w1}}{a_{nom}} \right) = \frac{20}{6} \times \left(3 - \frac{114,59 - 31,83}{101,57} \right)$$
$$z_e = 7$$

- Fator de comprimento de correia

$$C_7 = 0,9 \text{ , para o comprimento de correia de 450 mm}$$

- Fator de dentes em contacto

Para $z_e=7$ o valor de $C_1=1$

- Espessura da correia através da potência avaliada

$$P_U = P_N \times C_1 \times C_7 = 660 \times 1 \times 0,9$$
$$P_U = 594 \text{ [W]}$$

O valor de P_N obtém-se através dos dados da correia OMEGA 5M HP, através do valor de $n_1=370 \text{ [rpm]}$ e de $z_1=20$. Utilizando uma correia com 15 mm de altura, obtém-se um fator de correção de 1,87.

$$P_N = 356 \times 1,87 = 660 \text{ [W]}$$

Condição:

$$P_U \geq P_B$$
$$660 \geq 285,6$$

✓ **Condição verificada**

Selecionada a correia para o tipo de movimento, apresenta-se na tabela 20 a lista de material necessária para o sistema de correia vertical.

Material necessário		
Qt.	Designação	Referência
1	Correia dentada Optibelt OMEGA HP	450 5M HP 15
1	Polia	20-5M-15 6F
1	Polia	72-5M-15 6F
2	Acoplamentos polias	TTQM1426

Tabela 20: Material necessário para o sistema de correia vertical.

Seleção do Fuso

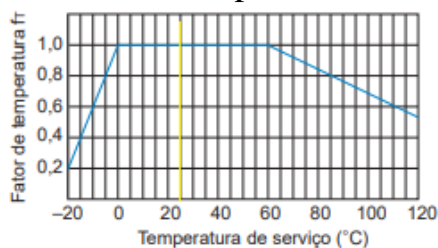
Para se obter o movimento linear vertical optou-se pela utilização de um fuso roscado e a sua seleção baseou-se no catálogo técnico da THK [20]

▪ Fator de segurança

Para uma carga unidirecional $f_s=2,5$.

Tipo de carga	Limite inferior de f_t
Para a carga estática usada com menos frequência	1 a 2
Para uma carga unidirecional comum	2 a 3
Para uma carga acompanhada por vibrações/impacto	4 ou maior

▪ Fator de temperatura



Temperatura de funcionamento aproximadamente 25°C, logo $f_t=1$

▪ Carga dinâmica equivalente

$$f_s \leq \frac{f_t \times F}{P_f} \Leftrightarrow F \geq \frac{f_s \times P_f}{f_t} \Leftrightarrow F \geq \frac{2,5 \times 649,55}{1}$$

$$F \geq 1623,88 \text{ [N]}$$

Onde:

P_f - Carga axial do movimento. [$P_f = 649,55 \text{ N}$]

▪ Seleção da porca e do fuso

Recorrendo ao catálogo da IGUS [19] selecionaram-se as referências:

Porca escolhida: DST-JFRM-3244DS20X60; $P_p = 1823 \text{ [N]}$

Fuso: DST-LS-20X60-R-ES L=500mm

Condição:

$$P_p \geq P_f$$

$$1823 \geq 1623,88$$

✓ **Condição verificada**

3. DIMENSIONAMENTO

Sistema de movimentação vertical

De forma a demonstrar a solução encontrada, pode-se observar na figura 26 a conjugação de todos os componentes selecionados.

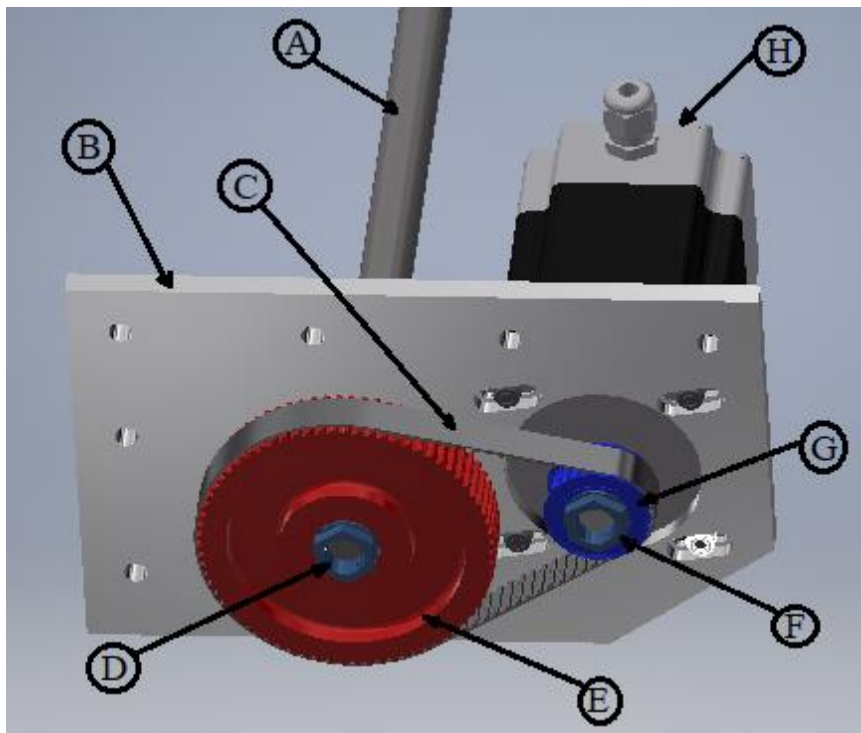


Figura 26: Esquema o sistema de movimentação vertical. **A** – Fuso roscado; **B** – Suporte movimento vertical; **C** – Correia sincronizadora; **D** – Acoplamento entre polia movida e fuso; **E** – Polia movida; **F** – Acoplamento polia motora; **G** – Polia motora; **H** – Motor de passo.

Verificação do rolamento

Na fixação inferior do fuso roscado, selecionou-se um conjunto de rolamento com caixa de fixação padrão.

Devido ao diâmetro que ao qual se pode maquinar o fuso selecionou-se o rolamento com chumaceira, FY 15 TF.

A tabela 21 contém as propriedades para a verificação fornecidas pelo fabricante.

Propriedade	Valor	Unidade
Carga dinâmica [C]	9,56	kN
Carga estática [C ₀]	4,75	kN
Diâmetro externo [D]	40	mm
Diâmetro do furo [d]	15	mm
Força axial da aplicação [Fa]	649,55	N

Tabela 21: Característica do rolamento FY 15 TF.

Recorrendo à metodologia descrita no capítulo 2.1.7 determinaram-se os fatores de carregamento:

▪ Carga equivalente no rolamento

$$\frac{f_0 \times F_a}{C_0} = \frac{16,3 \times 0,649}{4,75} = 2,23$$

$$\text{Logo: } e = 0,338$$

Verificando-se que: $\frac{f_0 \times F_a}{C_0} > e$ logo $X=0,56$ e $Y=1,3$.

Onde:

f_0 – Fator f_0 dependendo do diâmetro do furo e da gama do rolamento [$f_0=16,3$];

X – Fator de carga radial;

Y – Fator de carga axial;

De seguida calculou-se a carga equivalente no rolamento (P) pela seguinte expressão:

$$P = X \times Fr + Y \times Fa$$

$$P = 0,56 \times 0 + 1,3 \times 0,650$$

$$P = 0,845 \text{ [N]}$$

▪ Tempo de vida normal do rolamento

$$\sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} = \frac{C}{P} \times f_n$$

$$L_h = 500 \times \left(\left(\frac{C}{P} \right) \times f_n \right)^p$$

$$L_h = 500 \times \left(\left(\frac{9,56}{0,845} \right) \times 0,652 \right)^3$$

$$L_h = 2 \times 10^5 \text{ [horas]}$$

Onde:

f_n – Fator de rotação. Devido à rotação de 123 rpm consultando o catálogo obtém-se o valor de: $f_n=0,652$ para rolamentos de esferas;

p – Expoente de duração de vida. Num rolamento de esferas tem o valor de 3;

L_h – Tempo de vida teórico esperado do rolamento [horas];

▪ Tempo real de vida

$$L_{hna} = a_1 \times a_{23} \times L_h$$

$$L_{hna} = 0,33 \times 0,3 \times 2 \times 10^5$$

$$L_{hna} = 19800 \text{ [horas]}$$

Onde:

a_1 – Fator de probabilidade de falha. Considerando uma probabilidade de 2%, tem o valor de $a_1=0,33$;

a_{23} – Fator para determinação da duração de vida atingível. Neste fator é necessário fazer alguns cálculos de parâmetros intermédios para se poder consultar os ábacos presentes na figura 8, tais como:

3. DIMENSIONAMENTO

<p>Com:</p> $d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{40+15}{2} = 27,5 \text{ [mm]}$ $n = 123 \text{rpm}$	<p>Obtém-se pela figura 8:</p> $v_1 = 198 \text{ [mm}^2\text{/s]}$
<p>Com uma temperatura de funcionamento de 30°C e para uma viscosidade de 22 [mm²/s] a 40°C</p>	<p>Obtém-se uma viscosidade de serviço de:</p> $v = 30 \text{ [mm}^2\text{/s]}$
<p>-Valor de k:</p> $k = \frac{v}{v_1} = \frac{30}{198} = 0,152$ <p>-Valor de f_s:</p> $f_s = \frac{C_0}{P_0} = \frac{4,75}{0,845} = 5,62$	<p>Como é um rolamento fixo de esferas, o valor de K₁ = 0 e o valor de K₂ = 4.</p> <p>Obtém-se:</p> $K = K_1 + K_2 = 4$
<p>Utiliza-se os valores de K e k, recorrendo ao ábaco da figura 9</p>	<p>Obtém-se:</p> $a_{23} = 0,3$

Para a presente máquina pretende-se que tenha um tempo de vida mínimo de 9600 horas (4 horas por dias, 20 dias por mês e 10 anos de funcionamento), logo:

$$9600 \leq 19800 \quad \text{[horas]}$$

✓ **Condição satisfeita**

Guias verticais

Neste tipo de movimento, para que se consiga manter uma trajetória linear, optou-se pela aplicação de guias lineares da marca IGUS, estas possibilitam o funcionamento em ambientes com água. Utilizando os dados do movimento recorreu-se ao software da marca para a seleção das guias, anexo 18. Optou-se então pela utilização de:

- 2 guias lineares de comprimento igual a 500 mm (Ref.: WS-10-40);
- 2 sistemas de guia e prato (Ref.: WW-10-40-10);

3.3.4 Rotação da Mesa

Segundo a norma ISO 20653:2013 [7], alguns testes requerem que a amostra se encontre em rotação contínua ou que rode entre posições pré-definidas, para isso foi colocado um sistema de rotação constituído por um motor de passo acoplado a uma caixa redutora.

Para a colocação das amostras de tamanhos diferentes, foram também criados pratos de fixação distintos para cada tipo de teste.

Sistema de rotação

Na figura 27 observa-se a solução encontrada para realizar as especificações de rotação e no anexo 20 encontra-se o sistema em mais detalhe, bem como a cotagem de todos os componentes.

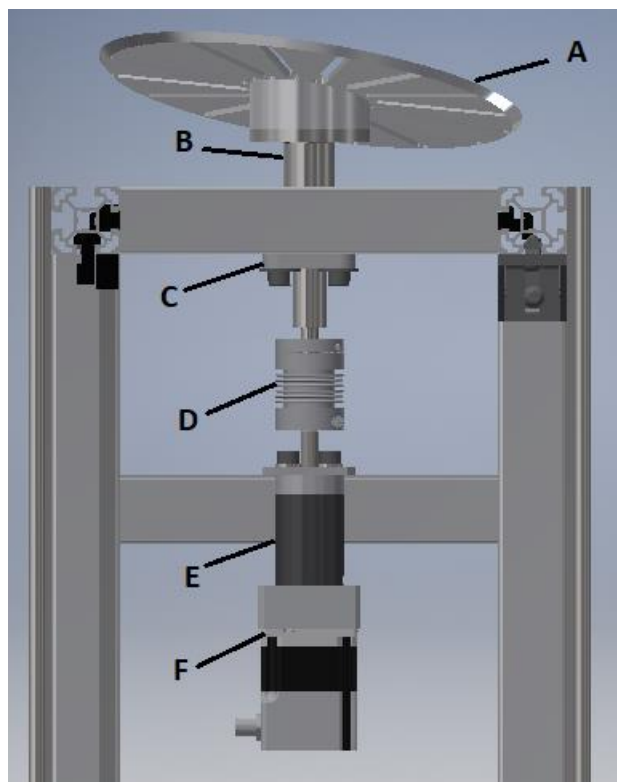


Figura 27: Sistema de rotação de mesas. **A** – Mesa de rotação; **B** – Veio de rotação; **C** – Suporte de veio de rotação; **D** – Acoplamento; **E** – Caixa redutora; **F** - Motor

Motor da mesa de rotação

A opção pelo motor de passo para este movimento está relacionada com a baixa velocidade de rotação e com a necessidade do controlo do posicionamento e da velocidade. De seguida expõem-se os passos seguidos na sua seleção.

▪ Características do movimento

- Massa da amostra [m_a] = 45kg
- Velocidade de rotação [ω_r] = 5 rpm
- Tempo de aceleração [t_a] = 0,4 s
- Raio mesa 750 [r_{mesa750}] = 0,375 m
- Massa mesa 750 [m_{750}] = 8,7 kg
- Comprimento máximo da amostra [c_{max}] = 0,8 m
- Largura máxima da amostra [l_{max}] = 0,8 m

▪ Inércia do sistema

$$J_t = J_{\text{mesa}} + J_{\text{amostra}} = 0,562 + 4,8$$

$$J_t = 5,362 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Inércia da mesa de ensaios de tamanho maior (mesa 750)

$$J_{\text{mesa}} = \frac{1}{2} \times m \times r_{\text{mesa750}}^2 = \frac{1}{2} \times 8 \times 0,375^2$$

$$J_{\text{mesa}} = 0,562 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

3. DIMENSIONAMENTO

Inércia da amostra máxima

$$J_{amostra} = \frac{1}{12} \times m \times (c_{max}^2 + l_{max}^2) = \frac{1}{12} \times 45 \times (0,8^2 + 0,8^2)$$
$$J_{mesa} = 4,8 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

▪ Obtenção da aceleração

$$\alpha = \frac{\omega_r \times 2 \times \pi}{60 \times t} = \frac{5 \times 2 \times \pi}{60 \times 0,4}$$
$$\alpha = 1,31 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

▪ Binário sistema

$$T_{sist} = J_t \times \alpha = 5,362 \times 1,31$$
$$T_{sist} = 7,02 \text{ [Nm]}$$

▪ Binário requerido

$$T_M = T_{Lsist} \times S_f = 7,02 \times 1,7$$
$$T_M = 11,94 \text{ [Nm]}$$

S_f - Fator de segurança de projeto [$S_f=1,7$]

Referência do motor selecionado: AS5918M2804-E

Inércia do motor [J_0] = 30×10^{-6} [kg/m²]

▪ Relação de transmissão mínima

$$\frac{J_{sist}}{J_0 \times i_{Min.}^2} \leq 10 \quad (10)$$

$$i_{Min.} \geq \sqrt{\frac{J_{sist}}{10 \times J_0}} \Leftrightarrow i_{Min.} \geq \sqrt{\frac{5,362}{10 \times (30 \times 10^{-6})}} \Leftrightarrow i_{Min.} \geq 133,7$$

▪ Seleção da caixa e obtenção de binários

Referência da caixa redutora: GPL40-3S-160-F56

$$T_{IN} = \frac{T_{OUT}}{i \times ef}$$
$$T_{IN} = \frac{11,94}{160 \times 0,91}$$
$$T_{IN} = 0,08 \text{ [N.m]}$$

$$\omega_{IN} = \frac{\omega_{OUT} \times i}{ef}$$
$$\omega_{IN} = \frac{5 \times 160}{0,91}$$
$$\omega_{IN} \approx 879 \text{ [rpm]}$$

Onde:

T_{IN} – Binário de entrada na caixa redutora [N.m];

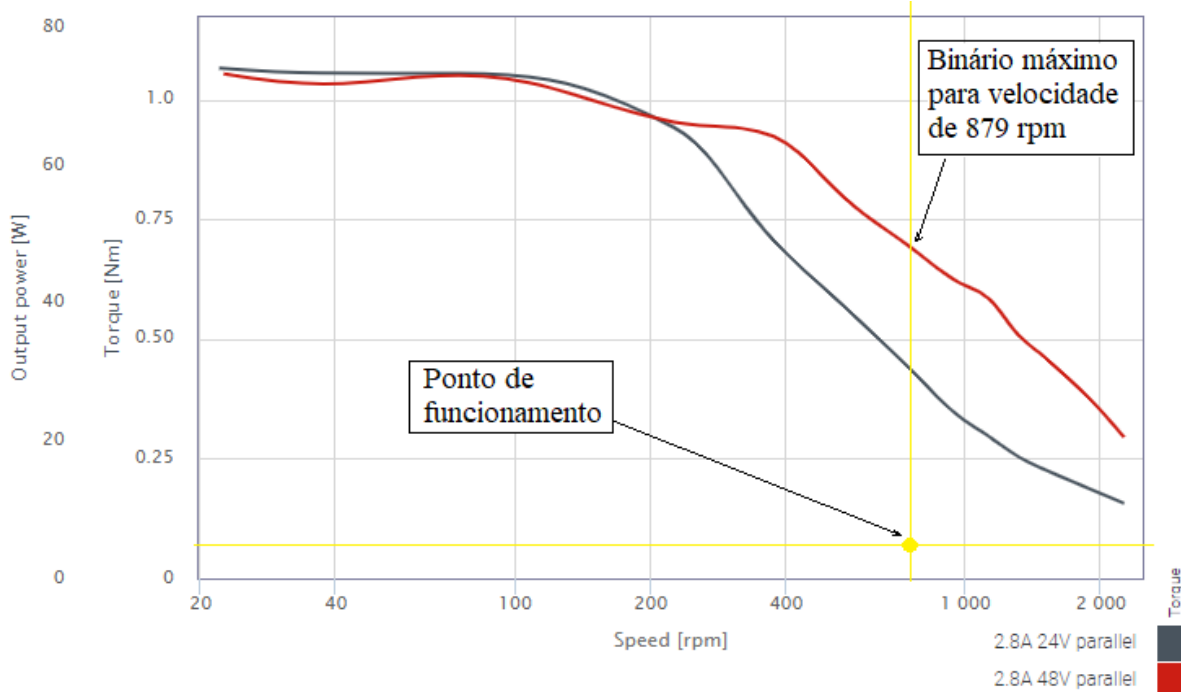
$T_M = T_{OUT}$ – Binário de saída na caixa redutora [N.m];

ω_{IN} – Velocidade de rotação de entrada da caixa redutora [rpm];

ω_{OUT} – Velocidade de rotação de saída da caixa redutora [rpm];

ef – Eficiência da caixa redutora [95%].

▪ Ponto de funcionamento do motor



Como o ponto de funcionamento do motor à carga máxima se encontra bastante abaixo do binário máximo à rotação indicada, satisfaz os requisitos de projeto.

Seleção do acoplamento

Para a seleção do acoplamento consultou-se o catálogo técnico da GERWAH [13] e utilizou-se o valor de binário do sistema calculado na seleção do motor

Os passos para a sua seleção foram os seguintes:

• Binário equivalente

$$T_{KN} = K \times T_{AS} \times \frac{J_{Masch}}{J_{Mot} + J_{Masch}} \quad (19)$$

$$T_{KN} = 1 \times 11,94 \times \frac{4,8}{(30 \times 10^{-6}) + 4,8}$$

$$T_{KN} = 11,94 \quad [Nm]$$

Acoplamento selecionado: PKN10-12-12

Diâmetro do veio: 12 mm

Size	T	n _{max}	C _{Tdyn}	C _r	C _a	ΔKa	ΔKw	ΔKr	J	Gw	D _{G1}	T _{A1}
	Nm	1/min	10 ³ Nm/rad	N/mm		mm	Degree	mm	10 ⁻³ Kgm ²	kg	mm	Nm
10	12	14100	8	361	46	0,4	1,2	0,15	0,04	0,092	1 x M4	3
18	22	12700	8	50	200	0,5	1,5	0,2	0,054	0,164	1 x M5	6
30	36	10200	35	50	720	0,4	1	0,1	0,123	0,280	1 x M6	12

Condição:

$$T_{KN} \leq T$$

$$11,94 \leq 12$$

✓ **Condição satisfeita**

3. DIMENSIONAMENTO

- Frequência de ressonância

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{C_{Tdyn} \times \frac{J_{Mot} + J_{Masch}}{J_{Mot} \times J_{Masch}}} \quad (20)$$
$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{8 \times \frac{(30 \times 10^{-6}) + 4,8}{(30 \times 10^{-6}) \times 4,8}}$$
$$f_{res} = 82,19 \quad [Hz]$$

Frequência de funcionamento

$$f_{fun.} = \frac{\omega_r}{60} = \frac{5}{60}$$
$$f_{fun.} = 0,08$$

Condição:

$$f_{fun.} \leq f_{res}$$
$$0,08 \leq 82,19$$

Condição satisfeita

Veio de rotação

De forma a rodar os diferentes tamanhos de mesas, foi desenvolvido um sistema que permite, de forma fácil e rápida, colocar o tipo de mesa que mais se enquadra para o ensaio em causa. Como possível solução, criou-se a peça apresentada, figura 28, que corresponde a um veio que vai acoplar na caixa redutora e que possui, na parte superior, um disco onde apertam 4 parafusos que estão localizados, de igual forma, em cada tipo de prato.



Figura 28: Veio de rotação das mesas de amostras.

Verificação do rolamento

Para o suporte do peso do conjunto, mesa e amostra, e para permitir rotação do veio, foi utilizado o rolamento FY 17 TF, tabela 22, como forma de satisfazer as condições do movimento.

Propriedade	Valor	Unidade
Carga dinâmica [C]	9,56	kN
Carga estática [C ₀]	4,75	kN
Diâmetro externo [D]	40	mm
Diâmetro do furo [d]	17	mm
Força axial da aplicação [Fa]	450	N

Tabela 22: Característica do rolamento FY 17 TF.

Para o dimensionamento do rolamento, utilizaram-se diversos fatores:

▪ Carga equivalente no rolamento

$$\frac{f_0 \times F_a}{C_0} = \frac{16,3 \times 0,450}{4,75} = 1,54$$

$$\text{Logo: } e = 0,31$$

Verificando-se que: $\frac{f_0 \times F_a}{C_0} > e$ logo $X=0,56$ e $Y=1,4$.

f_0 – Fator dependendo do diâmetro do furo e da gama do rolamento [$f_0=16,3$];

Calculou-se a carga equivalente (P) no rolamento, pela seguinte expressão:

$$P = X \times Fr + Y \times Fa$$

$$P = 0,56 \times 0 + 1,4 \times 0,450$$

$$P = 0,630 [N]$$

▪ Tempos de vida normal e real

$$\sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} = \frac{C}{P} \times f_n$$

$$L_h = 500 \times \left(\left(\frac{C}{P} \right) \times f_n \right)^p$$

$$L_h = 500 \times \left(\left(\frac{9,56}{0,630} \right) \times 1,49 \right)^3$$

$$L_h = 5,78 \times 10^6 [horas]$$

f_n – Fator de rotação. Devido à rotação de 5rpm consultando o catálogo obtém-se o valor de: $f_n= 1,49$ para rolamentos de esferas;

p – Expoente de duração de vida. Num rolamento de esferas tem o valor de 3;

L_h – Tempo de vida teórico esperado do rolamento [horas];

▪ Tempo real de vida

$$L_{hna} = a_1 \times a_{23} \times L_h$$

$$L_{hna} = 0,33 \times 0,15 \times (5,78 \times 10^6)$$

$$L_{hna} = 286110 [horas]$$

Onde:

L_{hna} – Tempo de vida real esperado para o rolamento [horas];

a_1 – Fator de probabilidade de falha. Considerando uma probabilidade de 2%, tem o valor de $a_1=0,33$;

a_{23} – Fator para determinação da duração de vida atingível. Neste fator é necessário o cálculo de parâmetros intermédios que serão usados nos ábacos da Figura 8, tais como:

3. DIMENSIONAMENTO

$d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{40+17}{2} = 28,5 \text{ [mm]}$ $n = 5 \text{ rpm}$	$v_1 = 800 \text{ [mm}^2/\text{s]}$
Com uma temperatura de funcionamento de 30°C e para uma viscosidade a 40°C de 22 [mm ² /s]	Obtém-se uma viscosidade de serviço de: $v=30 \text{ [mm}^2/\text{s]}$
-Valor de k: $k = \frac{v}{v_1} = \frac{30}{800} = 0,0375$ -Valor de f _s : $f_s = \frac{C_0}{P_0} = \frac{4,75}{0,630} = 7,54$	Como é um rolamento fixo de esferas, o valor de K ₁ = 0 e o valor de K ₂ = 7. Obtém-se: $K = K_1 + K_2 = 7$
Utiliza-se os valores de K e k, recorrendo ao ábaco da figura 9	Obtém-se: $a_{23} = 0,15$

Para a presente máquina pretende-se que tenha um tempo de vida mínimo de 9600 horas (4 horas por dias, 20 dias por mês e 10 anos de funcionamento), logo:

$$9600 \leq 286110 \quad \text{[horas]}$$

✓ **Condição satisfeita**

Mesas

A utilização de diferentes tamanhos de arcos obrigou à construção de mesas de fixação de peças apropriadas para cada tipo de teste. Assim, foram criadas mesas em alumínio, quimicamente estável quando em contacto com a água, pré furadas para posterior fixação fácil e rápida das amostras.

Para os arcos foram projetadas mesas de acordo com o respetivo tamanho, no entanto não obriga a que, no caso do arco de maior raio (800 mm), seja sempre utilizado a maior mesa, mas sim a mesa que melhor se enquadre ao tamanho de amostra, tabela 23.

No teste IPx2 deve-se ter em consideração que a amostra tem uma inclinação de 15° com a vertical, podendo-se optar por duas soluções:

– Caso a amostra em teste seja acompanhada de um suporte que faça o ângulo pretendido, utiliza-se a mesa direita até ao máximo de 550 mm de diâmetro;

– Caso a amostra não contenha nenhum suporte, recorre-se à colocação de uma mesa com a inclinação pretendida, designada como “mesa 15°”. Todas as dimensões das mesas estão apresentadas no anexo 21.

Designação ensaio	Tamanho de ensaio	Diâmetro da mesa [mm]				
		150	350	550	750	15°
IPx1	---	-	-	X	-	-
IPx2	---	-	-	X	-	X
IPx3	200	X	-	-	-	-
	400	X	X	-	-	-
IPx4	600	X	X	X	-	-
IPx4k	800	X	X	X	X	-
IPx5	---	A que melhor se enquadrar ao tamanho da amostra.				-
IPx6	---					
IPx6k	---					
IPx9k	---					

Tabela 23: Tamanho de mesa para cada tipo de teste.

3.3.5 Jato

No caso do ensaio IPx9K a solução encontrada foi a colocação de uma ponteira de jato direcionável cujo braço é controlado através de um atuador pneumático que o posiciona para a realização do teste. Normalmente, este sistema encontra-se fechado, permitindo a utilização dos restantes testes sem qualquer interferência.

Na posição de funcionamento, o jato é rodado pelas posições pré-definidas, através de um motor de passo, ao mesmo tempo que é feito o movimento vertical e horizontal para cumprir com as especificações geométricas impostas pela norma, anexo 5.

Sistema de jato direcional

O sistema de jato direcional é apresentado na figura 29 e no anexo 22 encontra-se o sistema completo com a cotelagem de cada componente não standard.

3. DIMENSIONAMENTO

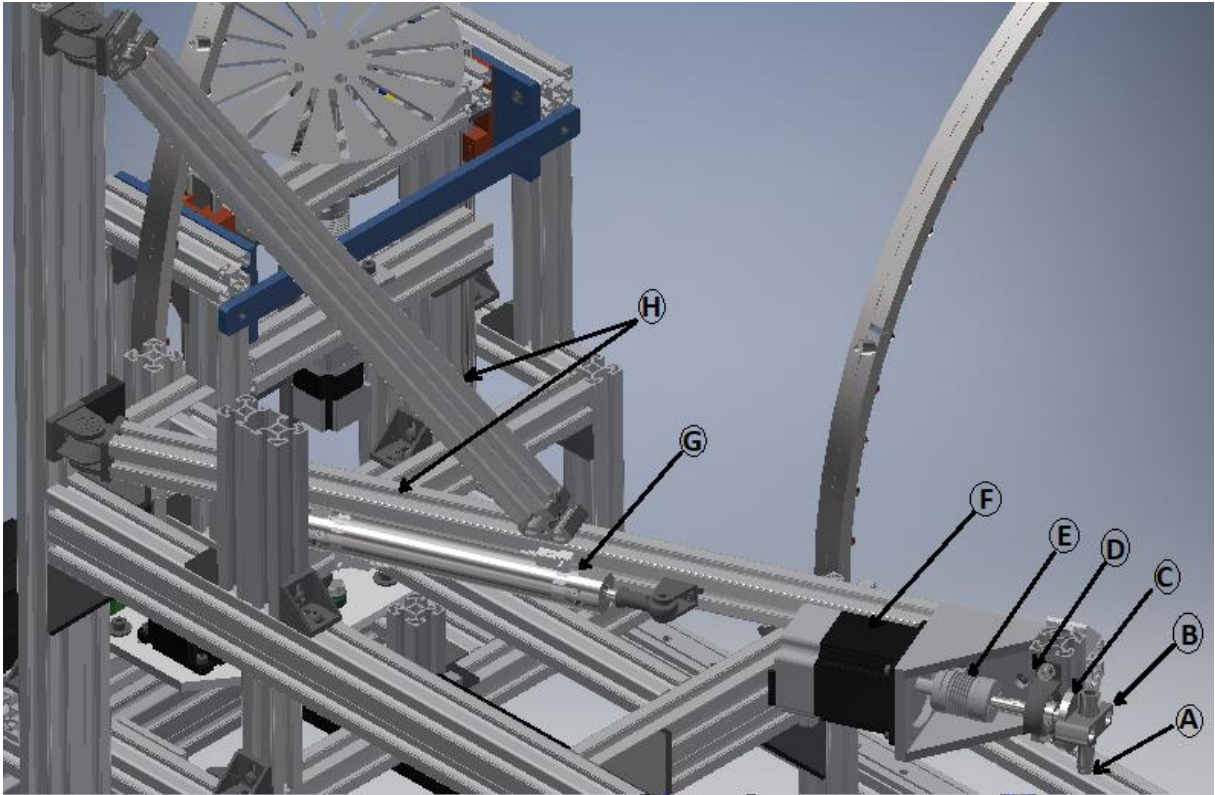


Figura 29: Sistema de jato direcional. A – Bico de jato; B -Suporte de bico; C – Eixo de rotação de jato; D- Chumaceira com rolamento; E – Acoplamento; F – Motor; G – Atuador pneumático; H – Braço rotativo.

Motor de rotação do jato

Na seleção do motor elaboraram-se os seguintes passos:

▪ Características do movimento

Massa da amostra [m_a]= 45kg

Velocidade de rotação [ω_r]= 5 rpm

Tempo de aceleração [t_a]= 0,4 s

Raio disco [r_{disco}] = 30 mm

Raio veio [r_{veio}] = 6 mm

Massa disco [m_{disco}] = 0,4 kg

Massa veio [m_{veio}] = 0,15 kg

Velocidade de rotação [ω_r] = 5 rpm

Tempo de aceleração [t_a] = 0,02 s

▪ Inércia do sistema

$$J_j = J_{veio} + J_{disco} + J_{acopt} = 2,7 \times 10^{-6} + 1,8 \times 10^{-4} + 0,03 \times 10^{-3}$$

$$J_t = 2,127 \times 10^{-4} [kg/m^2]$$

Inércia do veio de rotação

$$J_{veio} = \frac{1}{2} \times m \times r_{veio}^2 = \frac{1}{2} \times 0,15 \times 0,006^2$$

$$J_{veio} = 2,7 \times 10^{-6} [kg/m^2]$$

Inércia da amostra máxima

$$J_{disco} = \frac{1}{2} \times m \times r_{disco}^2 = \frac{1}{2} \times 0,4 \times 0,03^2$$

$$J_{disco} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Inércia do acoplamento

Seleciona-se o acoplamento PKN4,5 com base nos diâmetros dos veios e depois verifica-se se é aceitável.

$$J_{acopl} = 0,03 \times 10^{-3} \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

- Obtenção da aceleração

$$\alpha = \frac{\omega_r \times 2 \times \pi}{60 \times t} = \frac{5 \times 2 \times \pi}{60 \times 0,02}$$

$$\alpha = 26,18 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

- Obtenção da força provocada pelo jato

Pressão= 100Bar

Diâmetro do bico = 1,8 mm

$$\text{Força: } F_j = P \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 1 \times 10^7 \times \pi \times \left(\frac{0,0018}{2}\right)^2 = 25,45 \text{ [N]}$$

Assumindo que a força é descentrada 3 cm, o binário provocado é:

$$T_F = F_j \times b = 25,45 \times 0,03 = 0,76 \text{ [Nm]}$$

- Binário do sistema

$$T_{sist} = J_t \times \alpha = 2,127 \times 10^{-4} \times 26,18 = 0,05 \text{ [Nm]}$$

- Binário requerido

$$T_M = (T_{Lsist} + T_F) \times S_f = (0,76 + 0,05) \times 1,7$$

$$T_M = 1,38 \text{ [Nm]}$$

S_f- Fator de segurança de projeto, recomendado o valor de 1,7.

Referência do motor selecionado: AP8918M6404-E

Inércia do motor [J₀] = 1,9 × 10⁻⁴ [kg/m²]

- Relação de transmissão mínima

$$\frac{J_{sist}}{J_0 \times i_{Min.}^2} \leq 10 \quad (10)$$

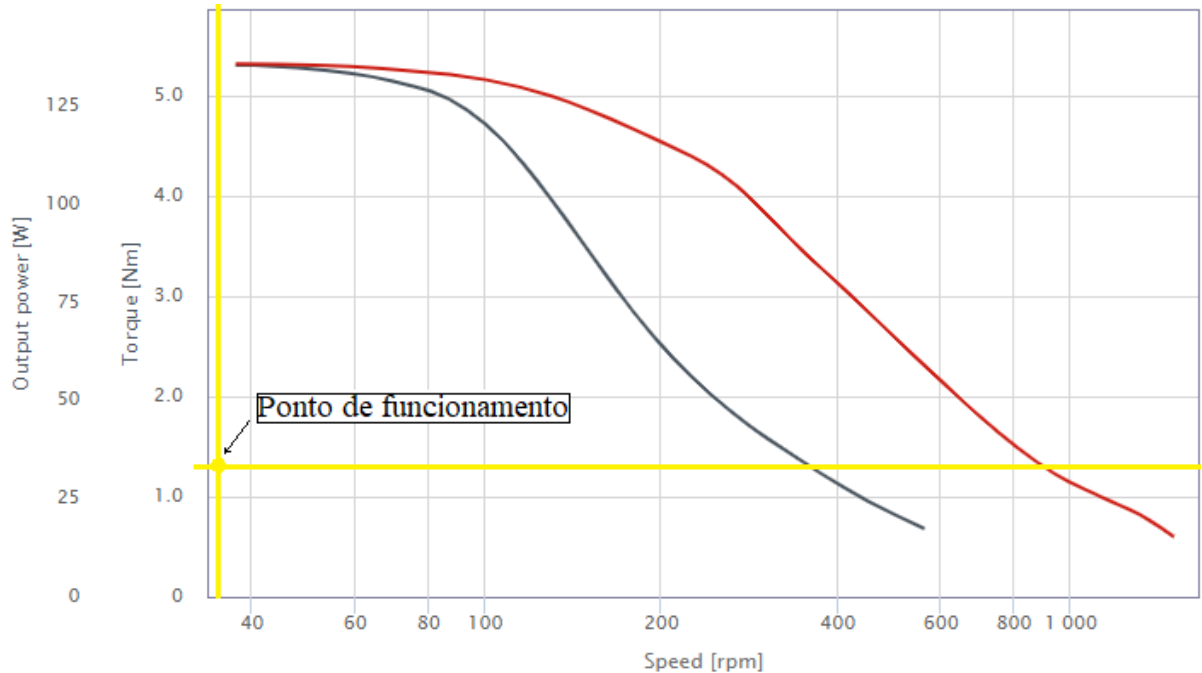
$$i_{Min.} \geq \sqrt{\frac{J_{sist}}{10 \times J_0}} \Leftrightarrow i_{Min.} \geq \sqrt{\frac{2,127 \times 10^{-4}}{10 \times (1,9 \times 10^{-4})}}$$

$$i_{Min.} \geq 0,33$$

Como $i_{min.} < 1$ não é necessário aplicar caixa redutora.

3. DIMENSIONAMENTO

▪ Ponto de funcionamento do motor



Como o ponto de funcionamento está bastante abaixo do binário máximo fornecido pelo motor, verifica-se estar corretamente selecionado. Verifica-se também que tem margem na gama de binário para superar fatores que ocorram durante o movimento.

Seleção do acoplamento

Para a seleção do acoplamento consultou-se o catálogo técnico da GERWAH [13]. Os passos para a sua seleção foram os seguintes:

• Binário equivalente

$$T_{KN} = K \times T_{AS} \times \frac{J_{Masch}}{J_{Mot} + J_{Masch}} \quad (19)$$

$$T_{KN} = 1 \times 1,38 \times \frac{2,127 \times 10^{-4}}{(1,9 \times 10^{-4}) + (2,127 \times 10^{-4})}$$

$$T_{KN} = 0,72 \quad [Nm]$$

Acoplamento selecionado: PKN4,5-12-12

Selecionou-se este acoplamento por ter o diâmetro mínimo para os veios de 12 mm.

Transmissible torque T [Nm]

Size	Ø3	Ø4	Ø5	Ø6	Ø8	Ø10	Ø12	Ø14	Ø15	Ø18	Ø20	Ø21	Ø24	Ø27	Ø28	Ø30	Ø32	Ø35	Ø36	Ø38	Ø41
2	1,7	2,3	2,4	2,4	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,5	—	—	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Size	T	n _{max}	C _{Tdyn}	C _r	C _a	ΔKa	ΔKw	ΔKr	J	Gw	D _{G1}	T _{A1}
	Nm	1/min	10 ⁴ Nm/rad		N/mm	mm	Degree	mm	10 ⁻³ Kgm ²	kg	mm	Nm
2	2,4	22500	1,5	147	18	0,4	1,2	0,2	0,02	0,032	1 x M8	1,5
4,5	5,5	17500	5,5	444	47	0,3	1,2	0,1	0,03	0,086	1 x M8	3

Condição:

$$T_{KN} \leq T$$

$$0,75 \leq 5,5$$

✓ **Condição satisfeita**

• Frequência de ressonância

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{C_{Tdyn} \times \frac{J_{Mot} + J_{Masch}}{J_{Mot} \times J_{Masch}}} \quad (20)$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{6,5 \times \frac{(1,9 \times 10^{-4}) + (2,127 \times 10^{-4})}{(1,9 \times 10^{-4}) \times (2,127 \times 10^{-4})}}$$

$$f_{res} = 40,5 \quad [Hz]$$

Frequência de funcionamento

$$f_{fun.} = \frac{\omega_r}{60} = \frac{5}{60}$$

$$f_{fun.} = 0,08$$

Condição:

$$f_{fun.} \leq f_{res}$$

$$0,08 \leq 40,5$$

Condição satisfeita

Atuador pneumático

Para movimentar o braço do teste IPx9K optou-se pela aplicação de um atuador pneumático. À semelhança do motor, também o braço para este teste apenas é posicionado antes de ativar o jato de água, assim todo o dimensionamento foi baseado nas forças resultantes da inércia e da movimentação dos tubos. Como resultado foram selecionados os seguintes materiais:

- Um atuador pneumático: CDG5EA32SR-200-G5BAZ;
- Um suporte para cilindro: C85C25-25;
- Uma rótula de êmbolo KJ10D-25;
- Um suporte para rótula: D5032.

3.4 Sistema Hidráulico

Para cumprir as especificações requeridas na realização dos ensaios é necessário criar vários circuitos de alimentação de água devido à gama de pressões e caudais ser bastante ampla.

Desse modo foram criados dois sistemas de alimentação e um sistema de recolha e recuperação de água que são identificados por:

- Sistema de baixa pressão (de 0,3 a 10 bar);
- Sistema de alta pressão (100 bar);
- Sistema de recolha de água;

O sistema de baixa pressão foi subdividido em 3 subsistemas devido às características dos caudalímetros utilizados.

3. DIMENSIONAMENTO

3.4.1 Sistema de baixa pressão

Para o sistema de baixa pressão utilizou-se o sistema de “bomba e balão” já existente na empresa, diminuindo assim o custo de aquisição de novos componentes.

O equipamento é da marca ELETRIMECA e tem como referência: “Hidrocontrol 2000 Monosistem Z 100 16 Bar”. No anexo 23 pode-se consultar uma foto do sistema e as suas informações técnicas.

Este sistema consiste numa bomba que eleva a pressão da água a 10 bar e armazena-a num vaso de expansão de 100 l. A paragem e arranque da bomba é controlada através de um pressostato.

Todo o sistema de baixa pressão é alimentado por este circuito de água, sendo que, dependendo do tipo de teste, existe uma conduta dedicada com o respetivo redutor de pressão, figura 30.

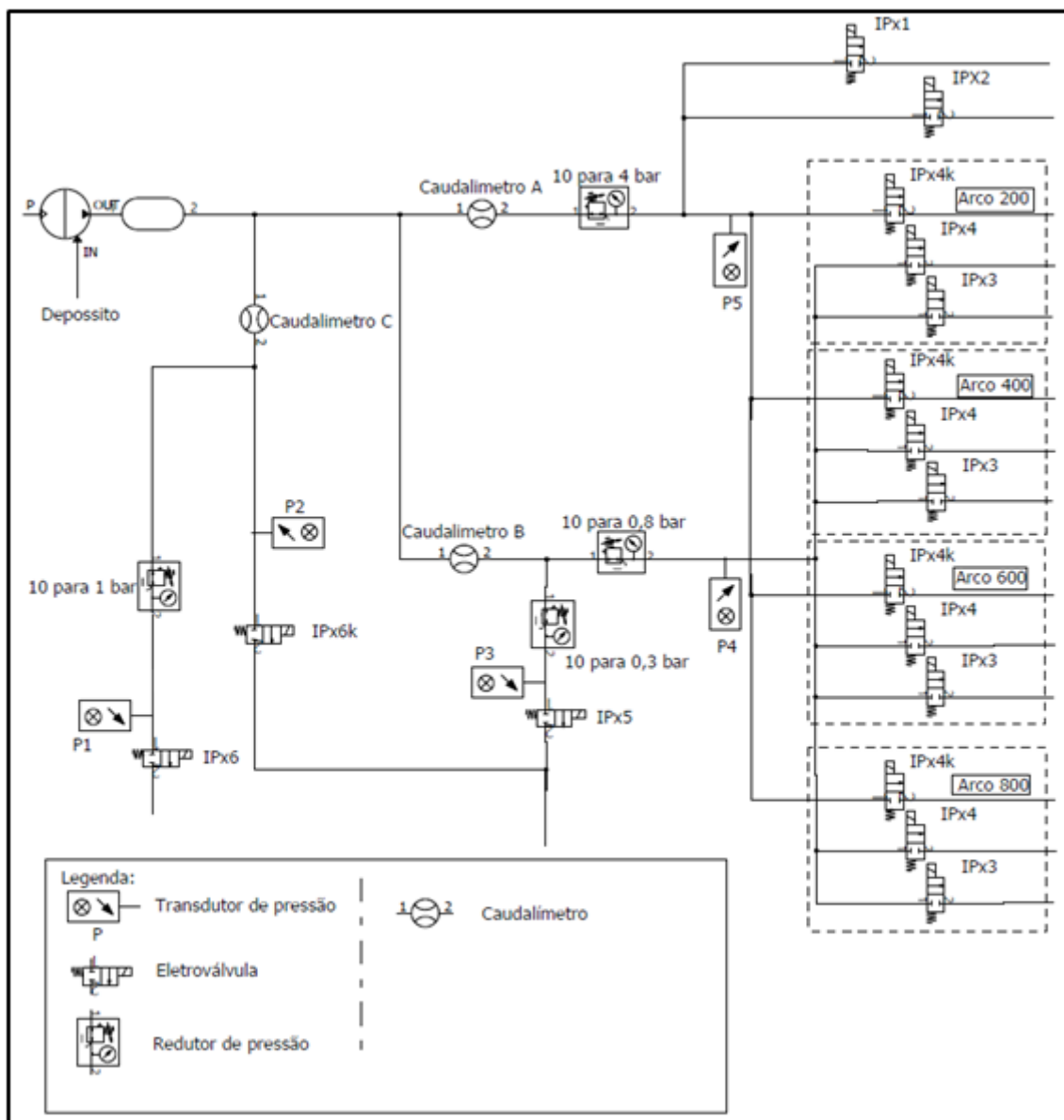


Figura 30: Esquema do circuito de baixa pressão.

Electroválvulas

A seleção das electroválvulas foi feita com base no catálogo técnico da Parker [25] recorrendo às características requeridas para o fluido. De seguida é demonstrado como foi feita a seleção para a electroválvula do teste IPx5, as restantes seguiram o mesmo procedimento.

- **Características do escoamento**

Pressão [P_{IPx5}]: 0,3 bar

Caudal [Q_{IPx5}]: 12,5 l/min.

Fluido: água

Temperatura: Ambiente

- **Cálculo coeficiente de caudal [k_v]**

$$k_v = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}}}$$

$$k_{vIPx5} = \frac{12,5}{\sqrt{\frac{(0,3 - 0)}{1}}}$$

$$k_v = 22,82 \text{ [l/min]}$$

O valor de k_v da electroválvula deve ser o mais aproximado possível do valor calculado

Na tabela 24 são apresentadas as referências para cada tipo de solicitação.

Tipo de ensaio		Identificação [ELV.]	Pressão [bar]	Caudal [l/min]	Coefficientes de caudal (kv) [l/min]	Referência da electroválvula da marca Parker
Px3	200	3	0,8	0,9	1,01	3121BSN1GV00-M1S1-C2
	400	6		1,8	2,01	3121BSN1LV00-M1S1-C2
	600	9		2,6	2,91	321BSN1NV00-M1S1-C2
	800	12		3,5	3,91	3121BSN1QV00-M1S1-C2
Px4	200	2		1,3	1,45	3121BSN1JV00-M1S1-C2
	400	5		2,6	2,91	321BSN1NV00-M1S1-C2
	600	8		3,8	4,25	3121BSN1QV00-M1S1-C2
	800	11		5,1	5,70	121K0250-2995-481865-C2
Px4k	200	1	4,0	7,8	3,90	3121BSN1QV00-M1S1-C2
	400	4		15,6	7,80	121K0150-4270-486265-C2
	600	7		22,8	11,40	121K0150-4270-486265-C2
	800	10		30,6	15,30	321K31-8993-481180-C2
IPx5	15	0,3	12,5	22,82	321K31-8993-488980-C2	
IPx6	16	1,0	100,0	100,00	321K3606-8993-481180-C2	
IPx6k	17	10,0	75,0	23,72	321K31-8993-481180-C2	
IPx9k	18	100,0	16,0	1,60	E121K67-4270-481865-220/50	

Tabela 24: Tabela de seleção e electroválvulas.

3. DIMENSIONAMENTO

Todas as electroválvulas escolhidas são acionadas a 24V DC, com exceção da electroválvula do ensaio IPx9k que, devido à alta pressão de trabalho, é alimentada por corrente alternada 220/50 AC.

Para os ensaios IPx1 e IPx2 utilizaram-se as válvulas VXD232AGA da marca SMC visto que tem apenas a função abre/fecha e já existiam em stock.

Redutores de pressão

No sistema de baixa pressão, cada tipo de ensaio utiliza uma pressão inferior a 10 bar o que levou à utilização do sistema de bomba de baixa pressão, figura 30, e redutores manuais de pressão, P3FA102 da marca Parker. No anexo 24 estão todas as especificações do redutor.

Caudalímetros

Durante cada ensaio é feito o registo de caudal de água utilizado para garantir a confirmação dos requisitos do teste e em simultâneo para anexar ao relatório de ensaio.

Perante isso, decidiu-se pela colocação de caudalímetros eletrónicos. Atendendo à dificuldade em encontrar um caudalímetro único, catálogo online da IFM [31], para toda a gama de caudais pretendida (0,9 a 100 l/min) optou-se pela criação de 3 grupos de caudais para o sistema de baixa pressão, tabela 25.

Ensaio	Gama de caudal [l/min]	Gama do grupo [l/min]	Grupos de caudalímetros
IPx3	0,9 a 3,5	0,9 a 5,1	A
IPx4	1,3 a 5,1		
IPx4k	7,8 a 30,6	7,8 a 13,1	B
IPx5	11,9 a 13,1		
IPx6	95,0 a 105,0	71,3 a 105,0	C
IPx6k	71,3 a 78,8		

Tabela 25: Grupos de caudalímetros.

Perante a variabilidade de gamas de caudais e atendendo à pressão de trabalho de 10 bar, optou-se pelos caudalímetros eletrónicos por vortex da gama SV. Estes permitem funcionar até 25 bar e tem uma boa relação qualidade preço, tabela 26. Toda as fichas técnicas estão disponíveis no anexo 25.

Grupos de caudalímetros	Referencia do caudalímetro	Gama de caudais medida [l/min]
A	SV3150	0,5 a 10
B	SV6150	3,5 a 50
C	SV8050	9 a 150

Tabela 26: Caudalímetros selecionados.

Pré-filtro

Perante a utilização de equipamentos de medida de caudal e de pressão é requerido nas fichas técnicas dos mesmo a utilização de filtros.

Assim e atendendo à sensibilidade dos caudalímetros, optou-se pela colocação de um filtro, WF300-02 marca SMC, de 100 micrómetros em cada linha com caudalímetros. No anexo 26 está a informação referente ao filtro selecionado.

Transdutor de pressão

Para o registo e monitorização da pressão em cada linha foi colocado um transdutor de pressão a seguir a cada redutor manual, identificados por “P” na figura 30. Os transdutores selecionados, tabela 27, são da marca IFM [32].

Designação	Gama de pressão [bar]	Referencia	Pressão máxima medida [bar]
P1	1,0	PT0517	1,6
P2	10,0	PT5414	16,0
P3	0,3	PT0507	1,0
P4	0,8	PT0507	1,0
P5	4,0	PT0504	10,0

Tabela 27: Transdutores de pressão para o sistema de alimentação de água.

Os dados técnicos de cada transdutor de pressão estão disponíveis no anexo 27.

3.4.2 Controlo de ensaios e IPx2

Nos ensaios IPx1 e IPx2 a norma impõe a utilização de uma “caixa de chuva” com furos de diâmetro de 0,4 mm distribuídos ao longo da sua área com uma distância entre eles de 20mm, como se pode observar através do anexo 1.

Para a construção da “caixa de chuva” optou-se pela utilização de chapa de aço inoxidável, 314 de 1,5 mm de espessura, que, após conformada, foi perfurada com furos de 8 mm e espaçados 20 mm.

Nos furos, foram colocados tubos com as respectivas agulhas do diâmetro pretendido, figura 31.

3. DIMENSIONAMENTO



Figura 31: Sistema de caixa de chuva para ensaios IPx1 e IPx2.

Estes ensaios têm em comum a necessidade do controlo da precipitação, assim o método mais expedito é através do controlo da altura da água do interior da “caixa de chuva”.

Através de ensaios experimentais, foram encontradas as alturas ideais para cada tipo de ensaio, tendo-se obtido os seguintes resultados:

-IPx1 = 9 cm (precipitação de $1,0\pm 0,5$ mm/min);

-IPx2 = 13 cm (precipitação de $3,0\pm 0,5$ mm/min);

Esta experiência consistiu, no enchimento da “caixa de chuva” de uma forma controlada, realizando-se pausas de 1 minuto entre cotas definidas, nessas pausas foi medida a diferença de altura de água até se atingir a precipitação pretendida para cada ensaio.

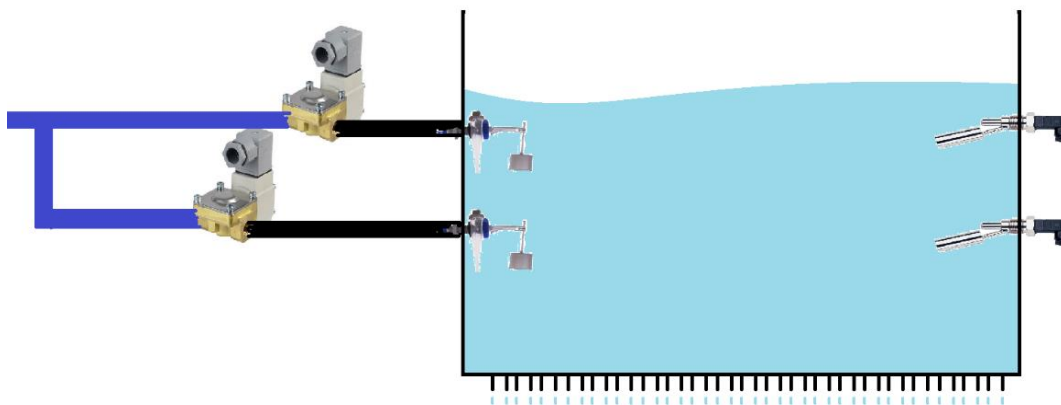


Figura 32: Esquema de controlo de altura de líquido para ensaios IPx1 e IPx2.

3. DIMENSIONAMENTO

O esquema de montagem do controlo de nível está representado na figura 32. Este sistema consiste na colocação de duas electroválvulas acopladas a duas válvulas de boia, figura 33.

Estas válvulas são abertas assim que o nível de água baixa à cota definida, abrindo de forma proporcional ao decréscimo de nível.

Para garantir que o ensaio tem início à cota correta colocam-se dois sensores “floats”, figura 34, que indicam o início do ensaio quando o valor de cota é atingido.



Figura 34: Sensor On\Off de controlo de nível.



Figura 33: Válvula controlada por boia.

3.4.3 Sistema de alta pressão IPx9k

Neste sistema optou-se pela utilização de uma máquina de alta pressão da marca Karcher que permite a regulação da pressão e da temperatura da água.

Como neste ensaio são necessárias pressões de aproximadamente 100 bar e um caudal máximo de 960 l/h, optou-se pelo modelo HDS 10/20-4 M, figura 35.



HDS 10/20-4 M

Figura 35: Máquina de alta pressão, modelo HDS 10/20-4M

Esta máquina encontra-se ligada ao sistema através de uma linha de alta pressão em tubo reforçado, da marca Karcher com a referência 6.110-031.0, fornecido pelo fabricante da máquina. O tubo é ligado a uma electroválvula e essa ao bico injetor, sendo a máquina ligada através do automático do laboratório de IPs.

A norma define que o bico injetor possui um ângulo de abertura de $30^\circ \pm 10$ tendo-se optado pelo bico 2.113-047.0 da marca Karcher. Todas as características da máquina estão no anexo 28.

3. DIMENSIONAMENTO

3.4.4 Recuperação de água (Filtros e bomba)

Atendendo ao elevado volume de água necessário, é utilizado um sistema em circuito fechado para de redução de custos e diminuição do impacto ambiental.

Para reduzir perdas, todas as juntas foram seladas usando o silicone “NEUTRO AXTON TRANSPARENTE 310ML” da marca “AXTON”.

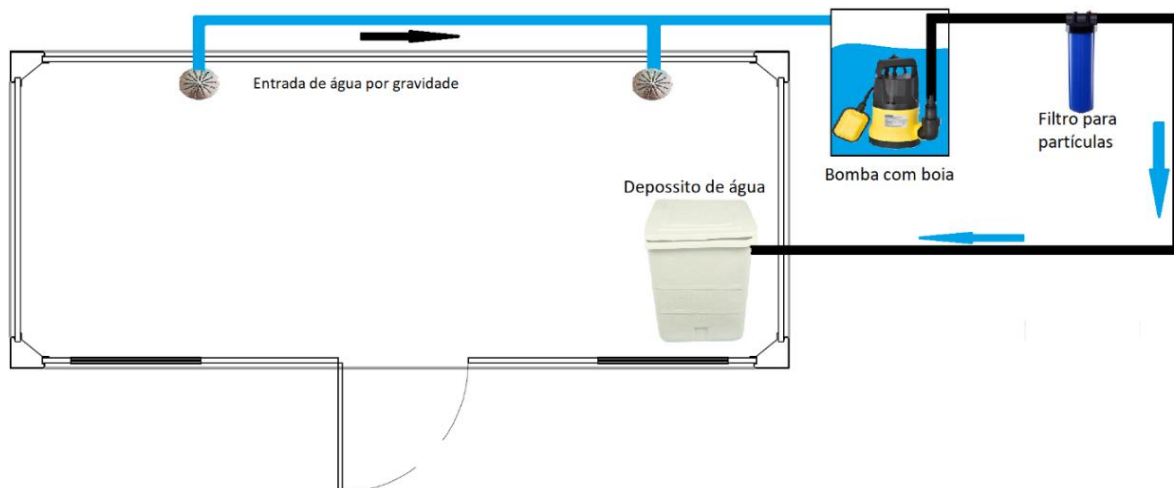


Figura 36: Representação do circuito de recuperação de água.

O funcionamento do circuito de água, figura 36, é descrito pelas seguintes etapas:

1. Durante o ensaio a água é expelida para o chão, recolhida em dois ralos e conduzida numa conduta de PVC de 40mm;
2. Por ação da gravidade a água é encaminhada para um depósito na parte exterior do laboratório. O nível neste depósito é controlado por uma bomba, acionada através de uma boia de nível, que bombeia a água para o depósito no interior do laboratório;
3. Para prevenir o entupimento do sistema de ensaios, toda a água é filtrada através de um filtro de 20 μ m antes de chegar ao depósito principal de armazenamento.

A seleção da bomba e do filtro teve por base o ensaio que utiliza maior quantidade de água (100 \pm 5 l/min), ensaio IPx6.

O tipo de bomba que mais se adequa à aplicação, é do tipo submersível com boia incorporada, como a da figura 37, pois tem um grande caudal e um reduzido custo.

Optou-se por uma bomba submersível de 500 W da marca “STERWINS”. Para a altura máxima de cota de água, 2 m, esta bomba tem um caudal de 9500l/h como se pode observar pela curva característica presente no anexo 29. Quanto ao filtro utilizou-se um modelo em stock, que é aplicado nos sistemas de alimentação de água residual.



Figura 37: Bomba submersível com boia.

3.4.5 Seleção de condutas

As condutas foram selecionadas de acordo com a pressão exigida.

No sistema de baixa pressão, à saída da bomba para o quadro de distribuição, foram utilizados tubos hidráulicos [27] 2SN-EN 853 DN19, figura 38.

Para os ensaios IPx3, IPx4, IPx4k optou-se pela utilização de tubos TU1208 da marca SMC [28], figura 39, cujas pressões de trabalho podem atingir os 30 bar.

Para o sistema de alta pressão, como referido no capítulo 3.4.3, optou-se pelo tubo 6.110-031.0 da marca Karcher [29].

Por último para o sistema de recolha utilizaram-se tubos em PVC, que são uma solução económica.



Figura 38: Tubo hidráulico [27].



Figura 39: Tubo serie TU [28].

4. Requisitos para controlo

De forma a que todo o laboratório funcione corretamente, é necessário que todos os sistemas estejam corretamente programados e configurados.

Visto que a área da programação e seleção eletrónica, vai além do tempo disponível para este projeto, optou-se pela subcontratação para toda a parte de controlo do laboratório.

Para que esse trabalho seja corretamente executado, é necessário que a empresa externa tenha acesso a todas as características dos componentes acima selecionados, pois terá à sua responsabilidade a seleção do seguinte material:

- Fontes de alimentação;
- Placas controladoras para motores de passo e servo motores;
- Controlo de electroválvulas;
- Aquisição de pressões e caudais;
- Software de controlo;
- Fins de curso necessários;
- Sistemas de segurança do utilizador;

4.1 Etapas requeridas para cada ensaio

Para o funcionamento do laboratório, definiu-se que seja colocado um quadro elétrico na parte externa do contentor, onde contenha um ecrã tátil para que o utilizador defina o tipo de ensaio e os seus parâmetros. As funções a disponibilizar são:

1. **Definir as dimensões da amostra e a quantidade de amostras** - o operador deve introduzir as dimensões da amostra (comprimento “c”, largura “l” e altura “h”);
2. **Qual o tipo de ensaio que se pretende elaborar** - deve aparecer a lista de ensaios possíveis para que o operador possa escolher qual o pretendido. Deve também ser apresentada uma opção para cada tipo de ensaio para um possível ajuste nos parâmetros de ensaio, possibilitando a realização de ensaios que estejam um pouco fora das especificações da norma;
3. **Informar das considerações a ter perante o tipo de ensaio** - deve informar o utilizador de qual o tamanho da mesa para a colocação da amostra e alguma informação extra necessária a cada tipo de ensaio;
4. **Pedir para colocar a mesa e a amostra na plataforma de testes** – neste passo o utilizador deve dirigir-se à plataforma de ensaios no interior do contentor e colocar a mesa selecionada e a amostra;
5. **Iniciar o ensaio** – devem iniciar-se os motores e electroválvulas necessárias para a realização do ensaio pretendido. O procedimento de cada ensaio será descrito no capítulo 4.2.;
6. **Terminar ensaio** – neste passo a amostra deve dirigir-se para a posição inicial onde o utilizador pode aceder;
7. **Pedir colocação de nova amostra** – caso sejam mais que uma amostra para o mesmo tipo de ensaio deve solicitar para colocar a amostra seguinte;

8. **Repetir o ensaio para o número de amostras existente** – repetir o processo de ensaio e solicitar assim que termine cada amostra para colocar a seguinte;
9. **Fim de ensaio** – Deve colocar todos os componentes nas posições iniciais e fechar todas as electroválvulas;
10. **Recolha de dados** – Deve apresentar um parâmetro de obtenção de dados, pressão de água, caudal e temperatura para cada amostra.

4.2 Funcionamento dos ensaios

De modo a poder-se descrever o funcionamento pretendido de uma forma mais simples e correta, criou-se um esquema com a numeração das electroválvulas e dos motores, anexo 30.

Para uma melhor interpretação dos procedimentos seguintes deve-se consultar as especificações impostas pela norma para cada tipo de ensaio, anexos 1 a 5.

4.2.1 Pré-ensaio

Inicialmente a plataforma de testes deve estar na posição inicial, ou seja, com os eixos de movimentação vertical e horizontal na posição zero, como ilustra a figura 40.

De salientar que independentemente dos testes realizados nesta parte do laboratório todos são iniciados nesta posição, devem também estar os arcos na posição vertical e o braço do ensaio IPx9K recolhido.

Estando a mesa de suporte e a amostra fixas na plataforma de rotação, o utilizador deve dirigir-se ao ecrã e dar início ao ensaio pretendido.

Consecutivamente, a plataforma horizontal deve movimentar-se de forma a dirigir-se para o ensaio pretendido, sendo que de seguida a plataforma vertical ajustar-se-á para a respetiva posição de ensaio.

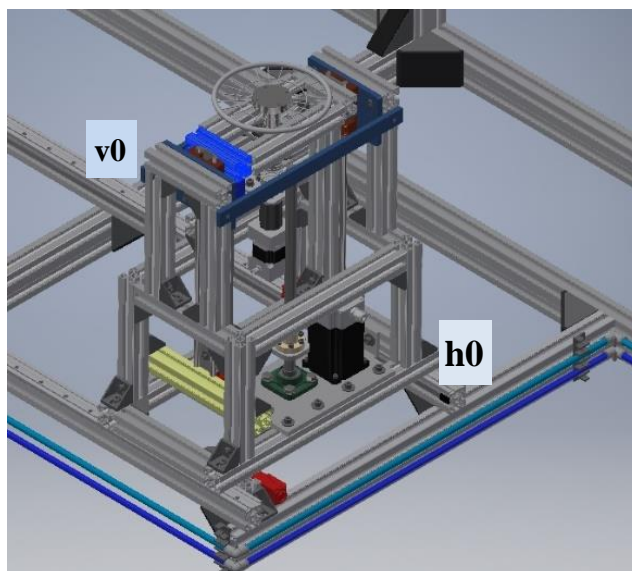


Figura 40: Identificação da posição inicial. v_0 - posição inicial vertical; h_0 - posição inicial horizontal.

4.2.2 Ensaio IPx1

Neste ensaio deve haver a informação, ao utilizador, para colocar a mesa de 550mm e que o centro da amostra é deslocado 100 mm do seu centro de rotação.

Processo do ensaio:

1. Colocar a amostra na plataforma rotativa e confirmar o início do ensaio no ecrã;
2. Iniciar a abertura da electroválvula 14 permitindo o enchimento da “caixa de chuva”;

4. REQUISITOS PARA CONTROLO

3. Movimento da plataforma vertical para a altura de teste (h_{VIPx1}) que é calculada pela seguinte expressão:

$$h_{VIPx1} = h_c - 200 - h_a$$

Onde:

h_v – Altura pretendida na vertical [mm];

h_c – Altura ao qual está a ponta das agulhas de teste [mm];

h_a – Altura da amostra [mm].

4. A rotação da mesa de ensaio e a movimentação horizontal para o centro da caixa de chuva iniciam-se quando o sensor de nível 11 atingir o seu valor. A mesa deve rodar a uma velocidade contínua de 1rpm com a possibilidade de fazer rotação de $+360^\circ$ e -360° ;
5. A duração do ensaio é de 10 minutos;
6. Após terminar o ensaio, fecha a electroválvula 14, para a rotação e a amostra move-se para a posição inicial;
7. Aparece a informação de fim de ensaio.

4.2.3 Ensaio IPx2

Para este ensaio deve haver a informação de que a amostra deve estar inclinada 15° do eixo vertical e que deve ser utilizada a “mesa 15”. Caso já tenha suporte, deve apenas indicar a utilização da mesa de 550 mm.

O decorrer do resto do processo é o seguinte:

1. Colocar a amostra na plataforma rotativa e confirmar o início do ensaio no ecrã;
2. Iniciar a abertura da electroválvula 13 permitindo o enchimento do “caixa de chuva”;
3. Movimento da plataforma vertical para a altura de teste (h_{VIPx2}), é obtido através da análise da figura 41, sendo calculada pela seguinte expressão:

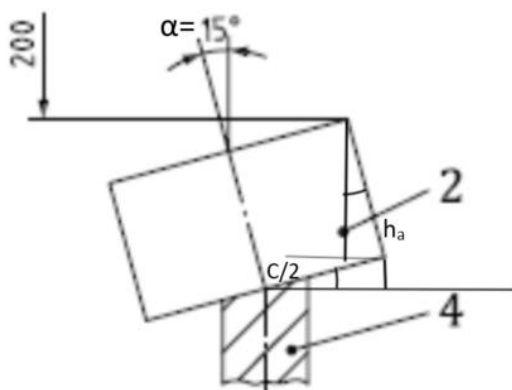


Figura 41: Esquema para cálculo da altura vertical.

$$h_{VIPx2} = h_c - 200 - \left(h_a \cos(\alpha) + \frac{C}{2} \sin(\alpha) \right)$$

Onde: C – Comprimento da amostra [mm];

4. Início do ensaio após atuação do sensor de nível “10” e do posicionamento da amostra no centro da caixa de chuva;
5. Durante o ensaio, a mesa roda entre 4 posições fixas. Permanece 2 minutos e 30 segundos entre cada rotação e na total roda 4 vezes 90° ;
6. O ensaio termina passados aproximadamente 10 minutos (tempo das 4 posições);
7. Movimento da plataforma para as posições iniciais;
8. Fecho da electroválvula “13”;

9. Caso exista mais que uma amostra, é pedido que seja inserida a próxima amostra e repetem-se os passos anteriores para cada nova amostra.

4.2.4 Ensaio IPx3/IPx4/IPx4K

Todos estes ensaios têm funcionamento semelhante, alterando apenas as electroválvulas e pequenas especificações. Desse modo será explicado o funcionamento em conjunto sendo referidas as diferenças.

De seguida apresentam-se as várias etapas:

1. Introduzir as dimensões da amostra e seleccionar o tipo de ensaio;
2. Seleccionar a mesa e o arco a utilizar. Na seleção do arco deve questionar o operador se pretende o arco predefinido ou outro;
3. O operador coloca a mesa na plataforma rotativa com a amostra;
4. Confirmar a introdução da mesa e da amostra para que o ensaio inicie;
5. Posicionamento automático da plataforma à face com o eixo de rotação dos arcos;
6. Posicionamento da plataforma junto do arco pretendido. Para a escolha do arco de forma automática, é necessário a seguinte restrição:

$$R \geq 200 + \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 + h^2}$$

Onde:

R- Valor de raio mínimo para o qual deve seleccionar o arco;

c – Comprimento da amostra [mm];

h – Altura da amostra [mm].

7. Abertura das electroválvulas específicas de cada ensaio e de cada arco, tabela 28.

Tipo de ensaio	Identificação [ELV.]	
	Arco	
IPx3	200	3
	400	6
	600	9
	800	12
IPx4	200	2
	400	5
	600	8
	800	11
IPx4k	200	1
	400	4
	600	7
	800	10

Tabela 28: Electroválvulas por tipo de ensaio e arco.

4. REQUISITOS PARA CONTROLO

8. Início da rotação do arco a uma velocidade de 10 rpm. Os arcos para o caso do ensaio IPx3 devem rodar apenas de +60° a -60 do eixo vertical. No caso dos ensaios IPx4 e IPx4k a amplitude de rotação é de +180° a -180 com a vertical com tolerância de ±20°;
9. O tempo de ensaio é de 10 minutos, sendo necessário rodar a amostra 90° passado 5 minutos do início do teste;
10. Durante o teste devem-se registar os valores de caudal e de pressão da água do ensaio;
11. Atingido o tempo de ensaio desliga-se a electroválvula em utilização e coloca-se o arco na posição inicial vertical;
12. Por fim movimentam-se a plataforma para a posição inicial;
13. Caso existam mais que uma amostra, o programa dá opção de colocar outra amostra e repete-se o processo, caso seja a última está concluído o ensaio.
14. Recolhem-se os valores de pressão e caudal de água.

4.2.5 Ensaio IPx5/IPx6/IPx6k

Estes ensaios têm um princípio de funcionamento semelhante. O tempo de ensaio é de 3 minutos.

Para o decorrer dos ensaios é necessário a seguinte sequência de etapas:

1. Depois de escolhido o tipo de teste, no ecrã deve sugerir a mesa que melhor se enquadra para a amostra e solicitar sua colocação na plataforma rotativa. Deve alertar que as amostras devem estar perfeitamente fixas;
2. Colocada a mesa e a amostra na plataforma, o utilizador deve confirmar no ecrã a prontidão do ensaio;
3. A plataforma desloca-se na horizontal para uma posição à distância entre 2,5 a 3m com os bicos;
4. A plataforma move-se na vertical, para que a amostra fique localizada no caminho do jato de água;
5. Abertura da electroválvula específica do teste pretendido, tabela 29.

Tipo de ensaio	Identificação [ELV.]
IPx5	15
IPx6	16
IPx6k	17

Tabela 29: Electroválvulas para os ensaios IPx5/IPx6/IPx6k.

6. Com a electroválvula aberta dá-se início ao ensaio, que tem um tempo total de 3 minutos;
7. Durante o ensaio gravam-se os valores de caudal e pressão da água;
8. Decorrido o tempo de ensaio fecha-se a electroválvula aberta e movimenta-se a plataforma para a posição inicial;
9. Caso existam mais amostras, pede-se para colocar a seguinte e repete-se todo o processo novamente;
10. Caso não exista mais nenhuma, o ensaio é concluído.

4.2.6 Ensaio IPx7/IPx8

Estes tipos de ensaios, como se realizam numa estrutura completamente à parte da descrita anteriormente, devem ser apresentados ao utilizador, que deve colocar as amostras no depósito de testes externo ao laboratório.

O depósito de testes é um depósito em acrílico com uma altura mínima de 1 metro, que permite a realização do ensaio IPx7. Para este ensaio é necessário manter a amostra submersa a uma profundidade de um metro durante 30 minutos.

Para o ensaio IPx8 deve-se obter uma cápsula de testes que permita colocar a amostra submersa e ao mesmo tempo pressurizar a superfície da água, para simular a presença da amostra à profundidade pretendida.

4.2.7 Ensaio IPx9k

Para este ensaio é usada a seguinte sequência de etapas:

1. Colocar as dimensões da amostra e seleccionar este tipo de ensaio;
2. O equipamento sugere a mesa que melhor se adapta para este ensaio e informa da necessidade de ligar a máquina de alta pressão ao sistema de alimentação de alta pressão e de verificar se o volume de combustível é suficiente para o aquecimento da água à temperatura de 80°C.
3. Informação sobre a necessidade de fixar a amostra à mesa;
4. O utilizador coloca a mesa escolhida e a amostra na plataforma de rotação e confirma a conclusão dessa etapa no ecrã;
5. Movimento do arco 800, ficando na horizontal, para que seja possível o braço de testes avançar;
6. Movimento horizontal da plataforma fazendo coincidir o centro da amostra com o eixo do jato, exigência da norma;
7. Colocação do braço de teste em posição de ensaio através do atuador pneumático;
8. Movimento da plataforma na vertical para a posição h_{vIPx9k} , dada pela seguinte expressão:

$$h_{vIPx9k} = h_j - 150 - h$$

4. REQUISITOS PARA CONTROLO

Onde:

h_j – Altura da ponta do jato em relação ao estado inicial da plataforma vertical [mm];

h - Altura da amostra [mm].

9. Início da rotação da plataforma à velocidade de 5rpm;
10. Abertura da electroválvula “18” durante 30 segundo para realização da primeira posição de ensaio;
11. Reposicionamento da plataforma para ensaiar nas restantes 3 posições. O tempo de ensaio com água em cada posição é de 30 segundos. O posicionamento para cada posição é dado pela tabela 30.

Movimentos		
Horizontal [mm]	Vertical [mm]	Rotação Jato (com a horizontal) [°]
0	h	90
$c/2$	h	60
$c/2$	h	30
$c/2$	$h/2$	0

Tabela 30: Medidas para deslocação dos diversos pontos do ensaio IPx9k.

12. Fecho da electroválvula “18”, movimento da plataforma na vertical para a posição inicial “v0” e recolha do braço de ensaio;
13. Movimento da plataforma na horizontal para a posição “h0”;
14. Caso existam mais amostras para fazer este ensaio, deve pedir que coloque a seguinte amostra, caso não existam esta o ensaio terminado;
15. Terminado o ensaio coloca-se o arco 800 na vertical;

5. Construção

Na construção de todo o laboratório, foram analisados detalhadamente todos os componentes dando-se preferência pela utilização de peças/conjuntos standard, diminuindo assim os custos.

Para as situações em que não foi possível a utilização de materiais standard, recorreu-se ao desenvolvimento, design e produção dessas peças. Como exemplo os seguintes componentes:

- Suportes para fixação de motores;
- Suportes para fixação de chumaceiras;
- Mesas para amostras;
- Arcos de teste;
- Suportes para jatos.

Após a aquisição e produção dos materiais, deu-se início à montagem. De momento e devido a alguns atrasos nos prazos de entrega de material, foram adquiridos, produzidas e montadas as seguintes partes do laboratório:

- Estrutura principal (figura 42);

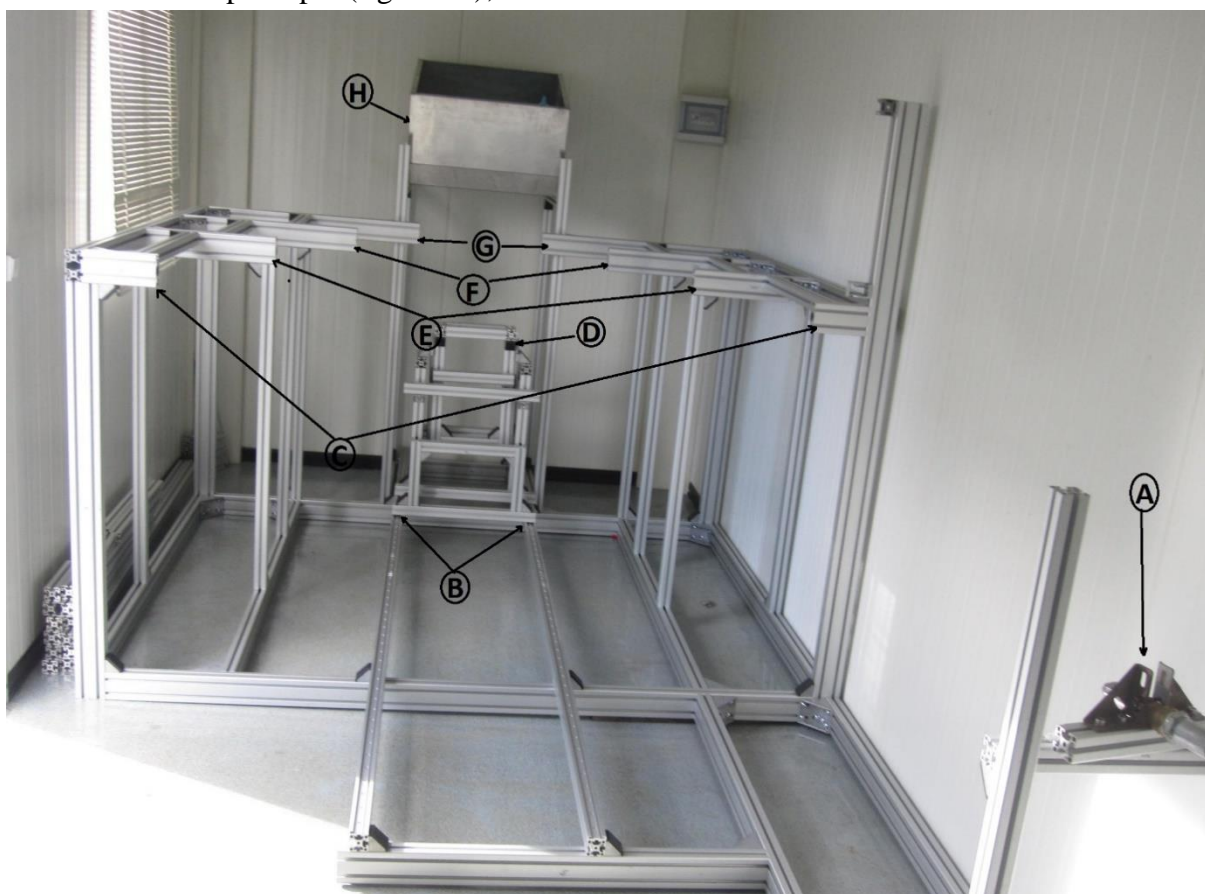


Figura 42: Estrutura principal. **A** – Jatos ensaios IPx5, Ipx6 e IPx6k; **B** – Guias horizontais; **C** – Suporte Arco 800; **D** – Movimento Vertical; **E** – Suporte Arco 600; **F** – Suporte Arco 400; **G** – Suporte Arco 200; **H** – Caixa de chuva;

5. CONSTRUÇÃO

- Construção dos arcos de teste (figura 43 e figura 44);

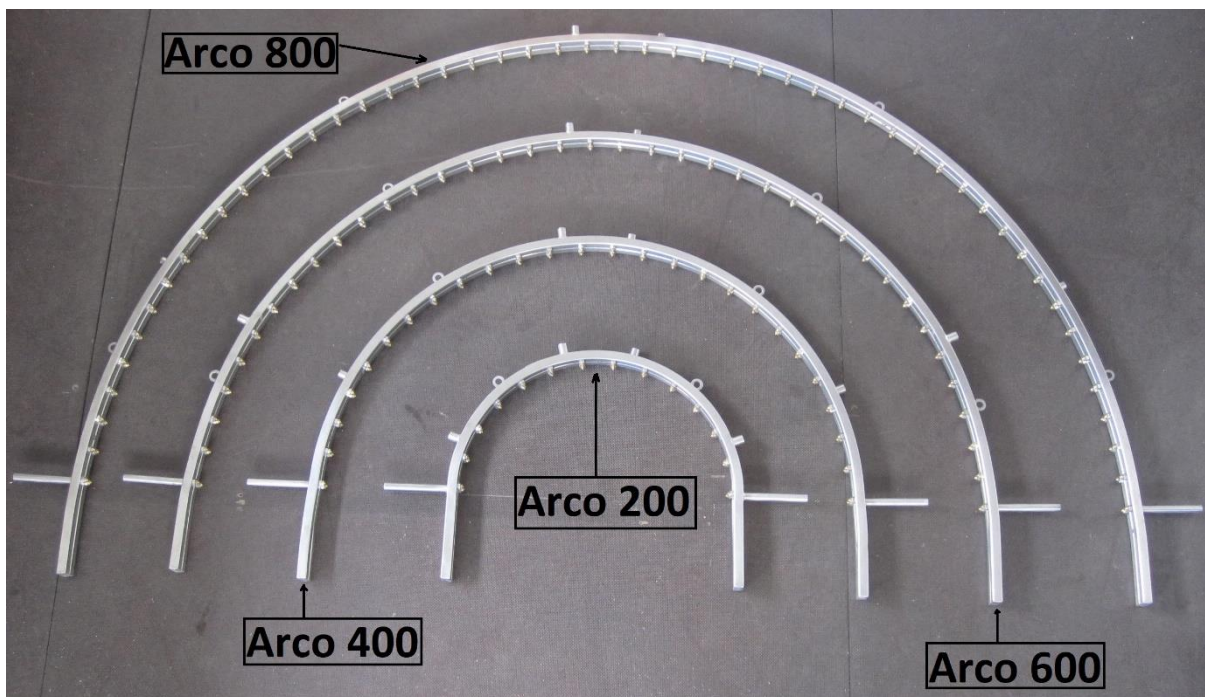


Figura 43: Arcos para ensaios IPx3, IPx4 e IPx4k.

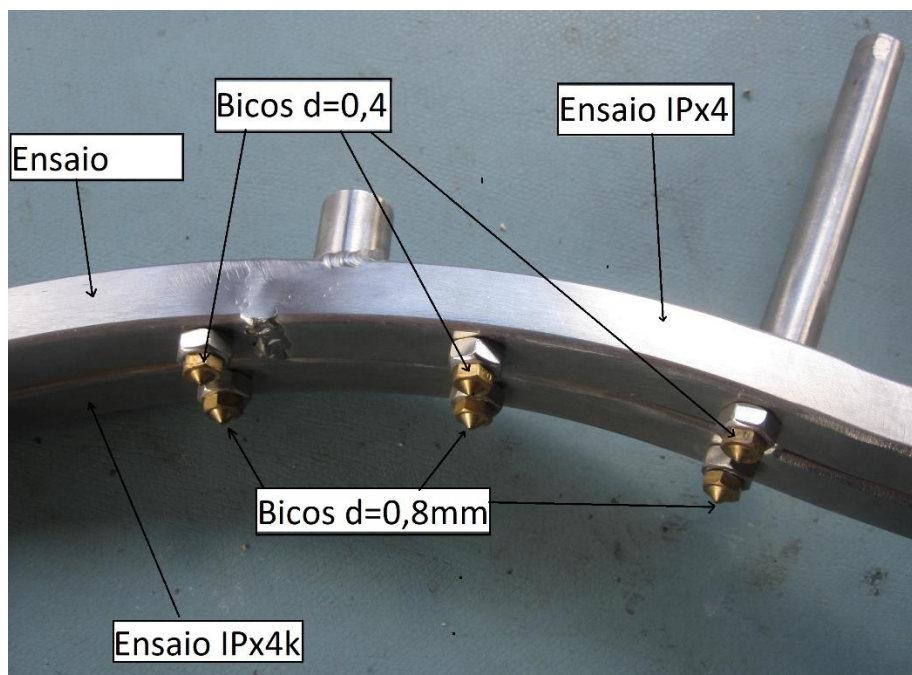


Figura 44: Detalhe da aplicação dos bicos de 0,4 e 0,8 mm nos arcos

5. CONSTRUÇÃO

- Parte do sistema de baixa pressão (apto a realizar os ensaios IPx5, IPx6 e IPx6k);
- Sistema de recuperação de águas (figura 45).

No anexo 31 é apresentada a lista do material necessário para a construção do laboratório.

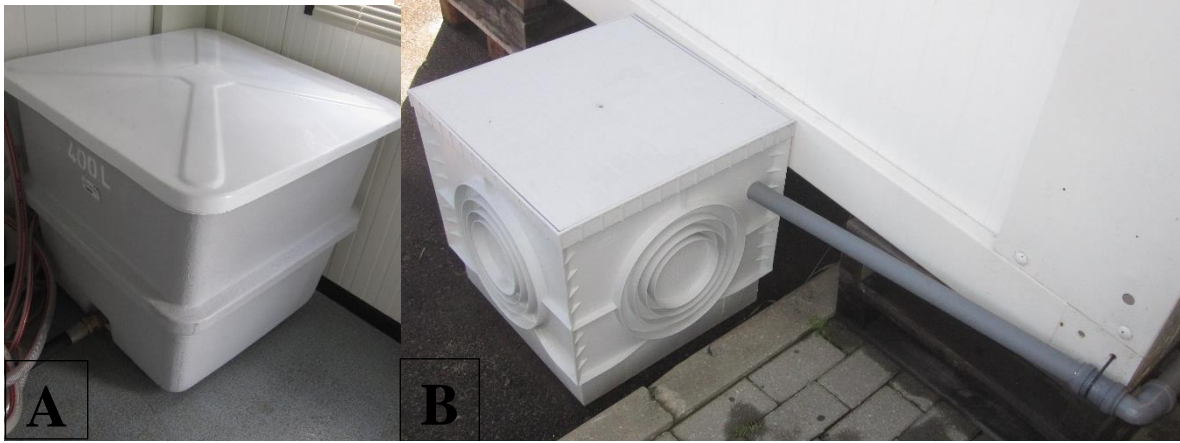


Figura 45: Sistema de depósitos para recuperação de água. **A** - Armazenamento de água; **B** – Depósito de recolha.

6. Ensaio realizados

Utilizando o material disponível, foram realizados os seguintes ensaios: -IPx2; -IPx5; -IPx6K. Seria de igual modo possível realizar o ensaio IPx6 e o IPx1, no entanto não foi solicitado por clientes esse tipo de ensaio.

De seguida serão descritos os ensaios realizados e serão utilizadas fotos retiradas durante os ensaios, no entanto por questões de confidencialidade as amostras aparecem rasuradas.

Os ensaios, foram realizados de forma manual, onde o movimento das amostras e o respetivo controlo de pressões e caudais foi feito de modo manual.

A medição do caudal para os ensaios IPx5 e IPx6k foi feita, utilizando o seguinte método:

- Desligar sistema de recuperação de água;
- Medição da altura da água do depósito desde a sua base;
- Teste de simulação durante 3 minutos à pressão de ensaio, medida através de um manómetro analógico no sistema;
- Fecho do sistema hídrico e registo da altura final do nível de água no depósito;
- Cálculo do caudal utilizado com base nos valores registados e nas dimensões do depósito, registando-se na tabela 31.

Designação	IPx5	IPx6k
Tempo de teste [min.]	3	
Comprimento [m]	0,765	
Largura [m]	0,765	
Altura inicial [m]	0,765	
Pressão [bar]	0,3	10,0
Altura Final [m]	0,702	0,381
Diferença de altura [m]	0,063	0,384
Volume de água [m ³ / (3min.)]	0,037	0,225
Caudal [l/min]	12,3	74,9

Tabela 31: Dados da medição do caudal dos ensaios IPx5e IPx6k, de forma manual.

6.1 Ensaio IPx2

Para a realização deste ensaio, fez-se os seguintes procedimentos:

1. Receção de amostras e codificação interna;
2. Caracterização fotográfica pormenorizada de todas as superfícies de cada amostra, no seu estado inicial;
3. Fixação do suporte da amostra à estrutura, colocando o centro da amostra 100mm deslocado do centro de rotação;
4. Colocação de uma amostra e ajuste da inclinação de 15°;
5. Medição da extremidade alta da amostra à ponta das agulhas, 20 cm, figura 46;

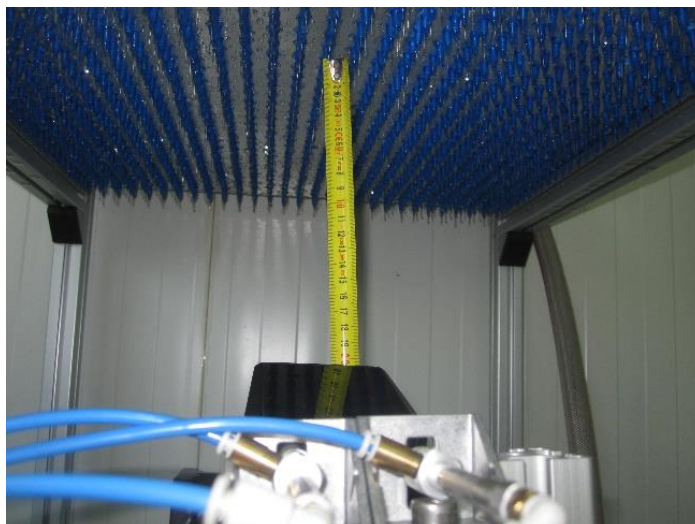


Figura 46 : Ajuste da altura da amostra.

6. Deslocação da plataforma horizontal para fora da “caixa de chuva”;
7. Início do enchimento da “caixa de chuva” até atingir uma altura de água de ± 13 cm;
8. Manter a alimentação de água à “caixa de chuva” de forma a manter a altura constante;
9. Iniciar sistema de atuação de amostras, figura 47;

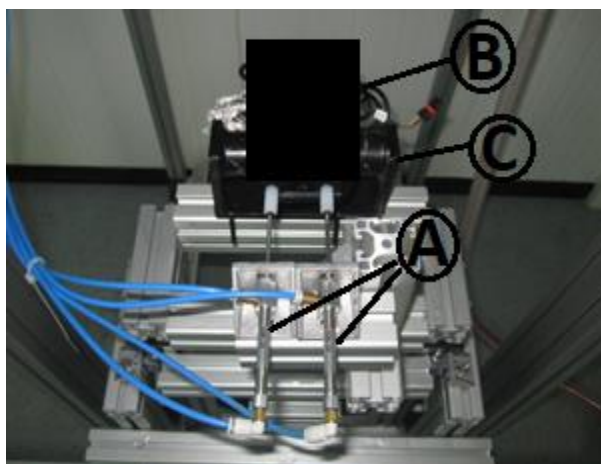


Figura 47: Sistema atuação de amostra. **A** -Atuadores pneumáticos; **B**- Amostra; **C** – Suporte de amostra fornecido pelo cliente.

10. Deslocação da plataforma horizontal para baixo da “caixa de chuva” e início do ensaio;
11. Decorridos 2 minutos e 30 segundos rodou-se o suporte 90° , para aposição 2. Fez-se essa rotação a cada intervalo de tempo de 2 minutos e 30 segundos, até um total de 10 minutos, figura 48;

6. ENSAIOS REALIZADOS

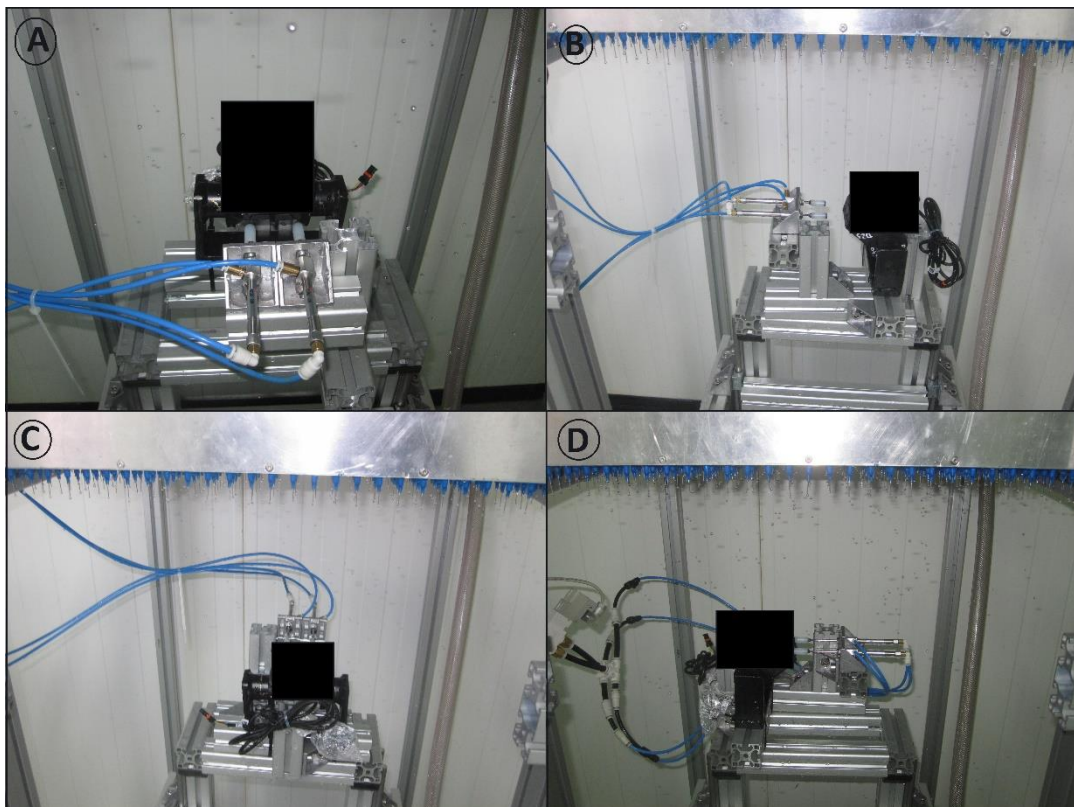


Figura 48: Posições de ensaio. A - Posição 1; B – Posição 2; C – Posição 3; D- Posição 4;

12. Deslocamento da plataforma horizontal, para fora da caixa de chuva;
13. Desligar sistema de atuação de amostra;
14. Retirada da amostra e verificação da estanquicidade nas partes definidas pelo cliente;
15. Registo fotográfico da amostra.

6.2 Ensaio IPx5 e IPx6K

A realização destes ensaios é semelhante, alterando apenas a pressão da água, por isso são explicados os procedimentos tidos em forma conjunta.

Estes ensaios realizaram-se a diversas amostras do mesmo tipo. O procedimento para a realização do ensaio foi o seguinte:

1. Receção de amostras e codificação interna;
2. Caracterização fotográfica pormenorizada de todas as superfícies de cada amostra, no seu estado inicial;
3. Fixação das amostras utilizando suportes de fixação e o guia de montagem na posição de funcionamento disponibilizados pelo cliente;
4. Enchimento do depósito do laboratório até atingir o seu máximo nível;
5. Ligar a bomba do circuito de baixa pressão e a respetiva bomba de recolha de água do depósito exterior;
6. Verificação das condições necessárias ao funcionamento do sistema (temperatura, humidade, pressão e caudal de água).

6. ENSAIOS REALIZADOS

A temperatura e humidade foram avaliadas por um termohigrómetro, Testo modelo 174h, que registou uma temperatura ambiente de 20°C e uma humidade relativa de 68%, apresentando-se assim nos intervalos definidos pela norma de temperaturas ($23\pm 5^\circ\text{C}$) e humidade (entre 25 a 75%);

7. Confirmação de todos os parâmetros necessários e fixação da primeira amostra;
8. Deslocamento da amostra para uma distância ao bico de 2,5 a 3 m, figura 49 c);
9. Início do ensaio através da abertura da válvula de jateamento e verificação da pressão de ensaio. Amostra em ensaio, figura 49 a) e b);
10. Findos os 3 minutos de ensaio, fecho da válvula e retirou-se fotos às amostras, de forma a guardar o seu estado final;
11. Retira-se a amostra e verificou-se a estanquicidade das partes definidas pelo cliente;
12. Registo fotográfico da amostra;
13. Teste das restantes amostras repetindo todos os parâmetros anteriores

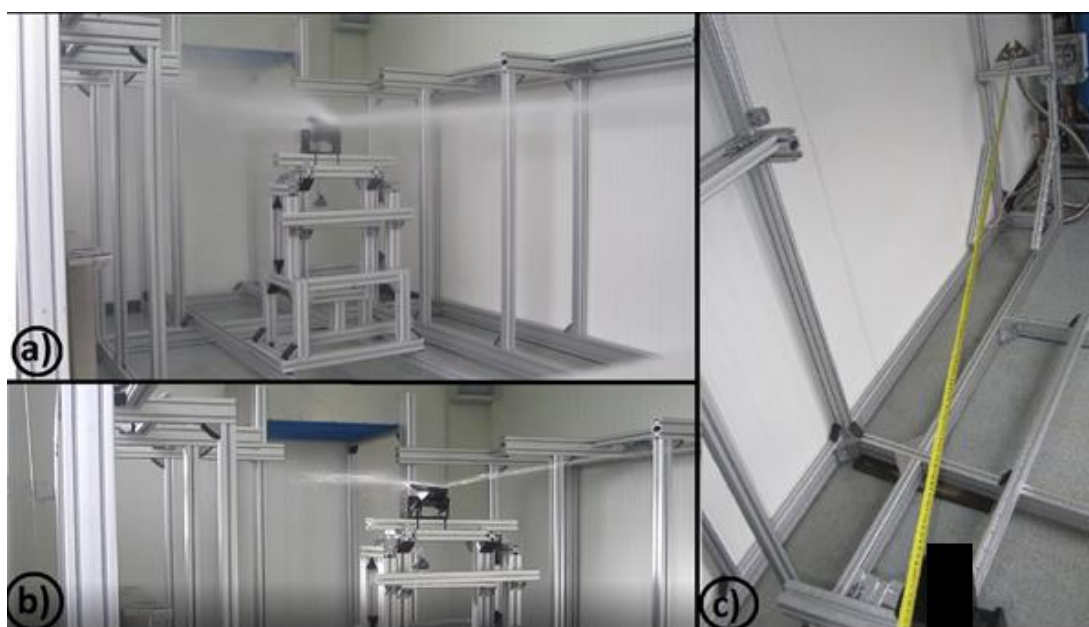


Figura 49: Fotos do ensaio IPx5 e IPx6. **a)** - Ensaio IPx6k; **b)** - Ensaio IPx5; **c)** - Colocação á distância requerida.

6.3 Resultado dos ensaios

Neste capítulo são expostos os resultados dos ensaios a amostras solicitadas por clientes ao ISQ.

Foram realizados ensaios dos tipos IPx2 IPx5 e IPx6k. As amostras sujeitas a ensaio são aplicadas em duas áreas distintas, ramos automóvel e ciclismo, serão designadas respetivamente por “A” e “B”.

As amostras do tipo “A” foram apenas sujeitas ao ensaio IPx6k num total de 9 amostras. As amostras do tipo B foram ensaiadas em conjuntos de três aos tipos IPx2, IPx5 e IPx6k.

6. ENSAIOS REALIZADOS

6.3.1 Ensaio IPx2

Decorrido o ensaio IPx2 ao total de 3 amostras do tipo “B”, verificou-se a resistência à penetração de água na zona dos terminais em estudo, figura 50.



Figura 50: Foto em detalhe da amostra B no ensaio IPx2.

6.3.2 Ensaio IPx5

No ensaio IPx5 às três amostras do tipo “B” verificou-se que em todas delas, as partes de proteção exterior soltaram-se, permitindo assim que a água penetrasse na zona dos contactos elétricos. Na figura 51 pode-se observar a presença de água no conector elétrico, identificada por uma seta vermelha.



Figura 51: Exemplo de amostra tipo B depois do ensaio IPx5, identificando a presença de água no interior do conector.

6.3.3 Ensaio IPx6k

Este tipo de ensaio realizou-se a nove amostras do tipo “A” e três do tipo “B”. No caso das amostras do tipo “A” verificou-se que existiu, em seis amostras, uma resistência a penetração de água nos terminais de ligação, figura 52 II, as restantes três amostras não apresentaram boa resistência à água encontrando-se gotas de água no final do ensaio nos terminais de ligação, figura 52 I.

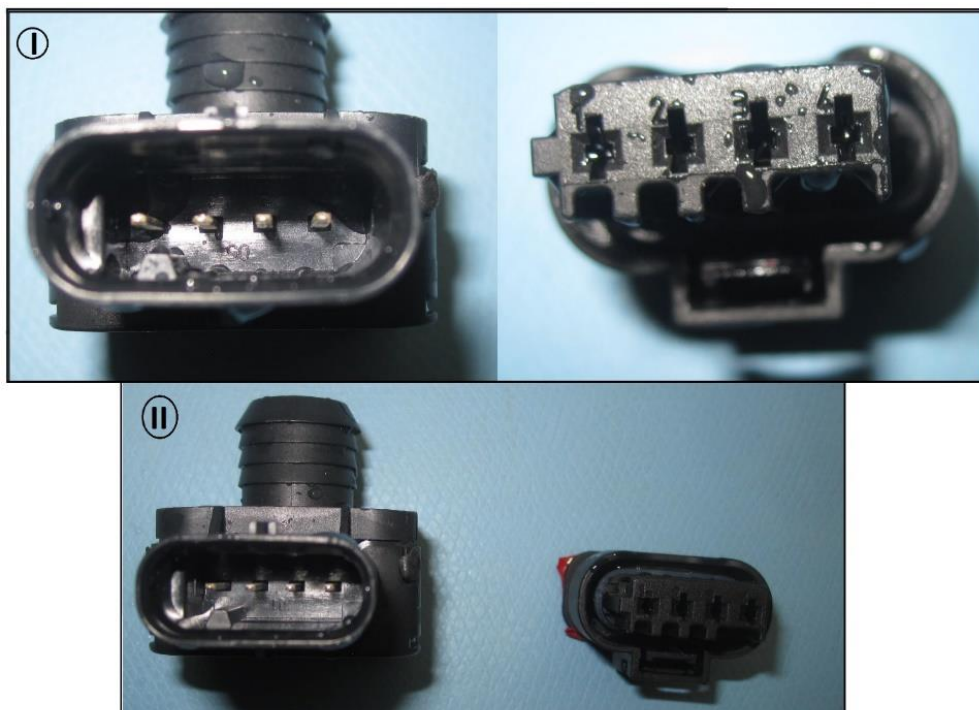


Figura 52: Amostras tipo “A” depois do ensaio IPx6k, **I** – Amostras que não apresentou bom isolamento a água; **II** – Amostra que apresentou bom isolamento.

No ensaio das amostras do tipo “B” verificou-se que as três amostras em estudo não apresentaram boa isolação contra água, verificando-se que partes da amostra se desmontaram durante o ensaio permitindo assim a penetração de água. Na figura 53 observa-se uma das amostras com as respectivas partes que se desintegraram.



Figura 53: Amostra tipo “B” desintegrada depois do ensaio IPx6k.

7. Conclusão

Devido ao atual aumento de aplicabilidade da eletrônica em todo o tipo de áreas, surgiu a necessidade de se regulamentar os componentes eletrônicos em diversas características, neste projeto foi abordado o Índice de Proteção de componente eletrônicos à penetração de água.

Como os componentes que se pretendiam ensaiar pertenciam à área automóvel, foi utilizada como referência a norma ISO 20653:2013.

O principal objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de uma unidade laboratorial capaz de realizar, de forma automatizada e eficiente, ensaios segundo a norma ISO 20653:2013, a componentes eletrônicos de veículos.

Inicialmente neste projeto pretendeu-se contextualizar a norma ISO 20653:2013 falando-se das normas que lhe deram origem. De seguida apresentou-se as metodologias utilizadas para a seleção de todos os componentes aplicados na unidade laboratorial.

Contextualizada a norma foram apresentadas as soluções de automatização encontradas para a realização de todos os ensaios nas dimensões máximas que apresenta o laboratório.

Como se pretendia que para a realização destes ensaios o operador apenas tivesse que colocar a amostra numa plataforma e selecionar o tipo de ensaio pretendido, optou-se por fazer movimentar, de forma automática, a amostra para o ensaio pretendido.

Para tal optou-se pela criação de um movimento controlado na horizontal e pela distribuição dos diferentes tipos de ensaios ao longo desse eixo.

Devido às características geométricas, optou-se pela colocação dos ensaios IPx3, IPx4 e IPx4k no início do movimento horizontal, dividindo-os pelos raios de arcos padrão de forma decrescente.

Dentro do espaço dos arcos, foi ainda definida uma posição para a realização dos ensaios IPx5 IPx6 e IPx6k otimizando assim o espaço existente.

Por último, nessa série de ensaios, foi colocada a “caixa de chuva” no final, para fazer os ensaios IPx1 e IPx2, devido às dimensões máximas das amostras serem mais reduzidas.

Para o ensaio IPx9k utilizou-se um braço com um jato direcional na ponta e sincronizando o movimento da horizontal e da vertical com a rotação do jato consegue-se obter as características impostas pela norma.

Quanto aos ensaios de submersão IPx7 e IPx8 foram abordados de uma forma mais superficial, porque consistem na submersão das amostras durante um determinado período de tempo, podendo essas ser colocadas de forma manual no tanque de submersão.

O desenvolvimento desta unidade laboratorial, necessitou da criação de várias soluções inovadoras, como é o exemplo da criação de um arco, para cada raio definido, capaz de fazer os três tipos de ensaio (IPx3; IPx4; IPx4k), fazendo deste projeto uma solução inovadora totalmente diferenciada das atuais unidades laboratoriais de ensaios de IPs.

Finalizado este projeto e realizados alguns ensaios verificou-se que cumpriu com as necessidades pretendidas, permitindo assim até ao momento a realização dos ensaios IPx2, IPx5 e IPx6k solicitados por clientes.

6. ENSAIOS REALIZADOS

Mostrou estar apta à realização dos ensaios, diminuindo os tempos de preparação de amostras, permitindo também uma maior rentabilidade económica graças ao seu sistema de reaproveitamento de água, realizando inúmeros ensaios sem ter que se colocar novamente água da rede.

É de salientar que mesmo tendo sido feita com base na norma ISO 20653:2013 permite a realização de ensaios a qualquer outro tipo de amostras, podendo altera-se alguns parâmetros de acordo com as solicitações dos clientes. Esta característica equipara ao laboratório um amplo mercado além do automóvel, como por exemplo: Smartphones, equipamentos domésticos, iluminação exterior, componentes náuticos, etc.

De futuro poderia ser interessante acrescentar algumas melhorias à unidade laboratorial, tais como:

- **Sistema de vídeo** – este sistema serviria para fazer uma gravação de vídeo durante o decorrer dos ensaios, permitindo fornecer ao cliente uma comprovação extra dos ensaios;
- **Sistema automático de medição de amostras** – como é necessário que o operador a cada amostra diferente insira as suas dimensões máximas, poderia ser interessante agrupar um modulo de medição automático de peças, permitindo assim uma diminuição do tempo do operador e reduzir ao máximo possíveis erros cometidos pelo mesmo;
- **Sistema de confirmação do tamanho da mesa** - devido à necessidade do operador colocar a mesa de ensaio com dimensões apropriadas à amostra, a colocação de um sistema por exemplo por RFID (Identificação por radio frequência) em cada arco poderia evitar algum erro de má seleção da mesa de ensaio;

8. Bibliografia

- [1] Tait Limited, “Testing Criteria and Ingress Protection,” 2012. [Online]. Available: https://www.taitradio.com/_data/assets/pdf_file/0003/122898/PP_Tait_P25-TP9100-Testing-criteria_US_WEB.pdf.
- [2] J. Zafalon, “Instalações e materiais elétricos,” *Grau de proteção (IP)*, 2010.
- [3] International Organization for Standardization, “ISO 12103:2016 - Road vehicles - Test contaminants for filter evaluation - Part 1: Arizona test dust”.
- [4] D. E. SOLUTIONS, “desolutions,” [Online]. Available: <http://www.desolutions.com/testing-services/test-standards/iec-60068-2/>. [Acedido em 16 01 2018].
- [5] Artia. [Online]. Available: <http://artia.com/>. [Acedido em 01 Janeiro 2018].
- [6] omegatrafo. [Online]. Available: <http://www.omegatrafo.com.br/ip.pdf>. [Acedido em 16 Janeiro 2018].
- [7] I. O. f. Standardization., “ISO 20653:2013 (E) - Road vehicles - Degrees of protection (IP code) - Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access.”.
- [8] I. E. COMMISSION, “IEC 60068-2-20 - Environmental testing – Part 2-20: Tests – Test T: Test methods for solderability and resistance to soldering heat of devices with leads,” 07 2008.
- [9] R. G. Budynas e J. K. Nisbett, *Elementos de Máquinas de Shigley - 6ª Edição*, São Paulo: McGrawHill, 2011.
- [10] Nanotec, “IP65 Stepper Motors,” 2018. [Online]. Available: en.nanotec.com/products/154-ip65-stepper-motors/. [Acedido em 21 Março 2018].
- [11] April, “Acoplamentos,” 2013. [Online]. Available: april.pt/products.php?category=35. [Acedido em 10 Agosto 2018].
- [12] Thk, “Lead screw Nut 508-2E,” [Online]. Available: thkstore.com/media/product_custom_files/5/0/508-2E_16_ScrewNut.pdf. [Acedido em 26 Agosto 2018].
- [13] Omegaoleohidraulica, “Tudo sobre eletrovalvulas,” 1 Março 2016. [Online]. Available: <http://www.omegaoleohidraulica.com.br/>. [Acedido em 2 Julho 2018].
- [14] B. R. Munson, D. F. Young e T. H. Okiishi, *Fundamentos da Mecânica dos Fluidos*, São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- [15] “Motedis,” 2018. [Online]. Available: <https://www.motedis.com/shop/index.php>. [Acedido em 23 02 2018].
- [16] Nanotec, “Precision Planetary Gearboxes,” 2018. [Online]. Available: <https://en.nanotec.com/products/2274-precision-planetary-gearboxes/>. [Acedido em 3 Agosto 2018].

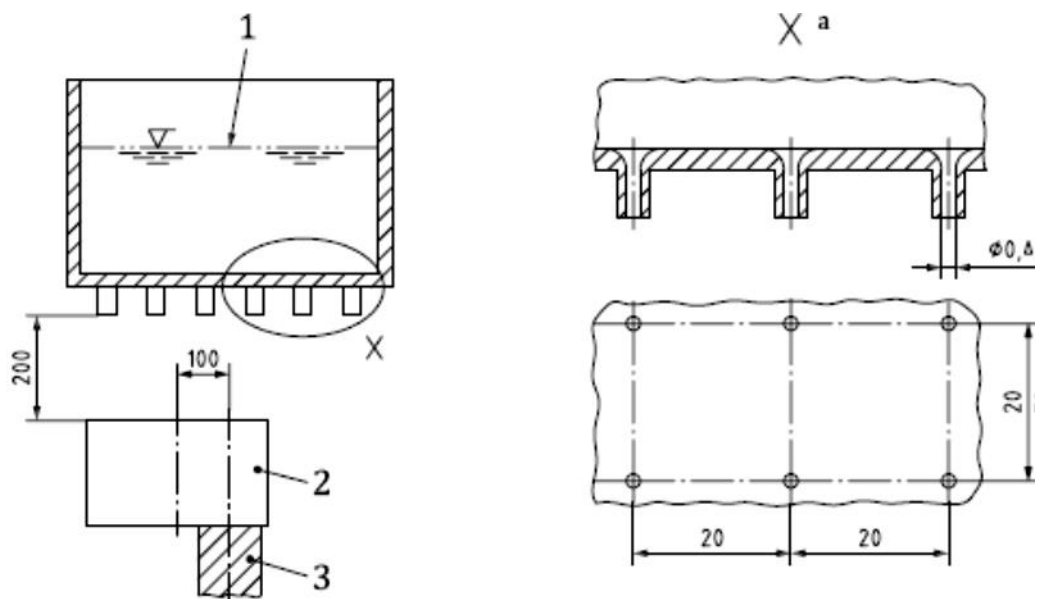
8. BIBLIOGRAFIA

- [17] Igus, “Drylin-linear-guides-expert,” 2018. [Online]. Available: <https://drylin-linear-guides-expert.igus.tools/design/n>. [Acedido em 27 Agosto 2018].
- [18] Hidroorfao, “Mangueira hidraulica 2SN,” 2018. [Online]. Available: <https://hidroorfao.pt/pt/home/34-mangueira-hidraulica-2sn.html>. [Acedido em 10 Setembro 2018].
- [19] Karcher, “HS10/20- 4M,” 02 Novembro 2018. [Online]. Available: https://s4.kaercher-media.com/documents/datasheets/machines/pt_PT/1.071-900.0_PI_pt_PT.pdf. [Acedido em 03 Novembro 2018].
- [20] IFM, “Sensores de vazão Vortex,” 2018. [Online]. Available: https://www.ifm.com/pt/pt/category/040/040_030/040_030_010_085#!S/BD/DM/1/D/0/F/0/T/24?at_stroemung-messbereich-lpmin-max=10.00~150.00. [Acedido em 23 Setembro 2018].
- [21] IFM, “Sensores de pressão,” 2018. [Online]. Available: https://www.ifm.com/pt/pt/category/040/040_010. [Acedido em 21 Outubro 2018].
- [22] SMC, Product Overview, Espanha: SMC Corporation, 2018.
- [23] SKF, Rolling bearing - PUB BU/P1 17000/1 EN, SKF Group, 2018.
- [24] SEW, Drive Engineering- Pratical Implementation, Bruchsal /Germany: SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG, 2006.
- [25] Parker, Lucifer - General Catalogue Solenoid Valves Catalogue 8930/GB, Carouge-Geneva: Parker Lucifer SA, 2003.
- [26] GERWAH, Metal Bellows & Servo-Inser Couplings, Line Shafts, Krefeld - Germany: Ringfender Power Transmission GMBH, 2009.
- [27] Optibelt, Optibelt Polyurethane Timing Belt Drives, Hoxter- Germany: Optibelt GmbH, 2015.
- [28] OSRAM, “Technical application guide IP code in accordance with IEC 605229,” Novembro 2012.
- [29] Orientalmotor, *Motor General Catalog*, Oriental Motor, 2015/2016.
- [30] SKF, Y-bearing and Y-Bearing units, SKF Group, 2013.
- [31] O. Motor, Technical Reference- Selection Calculations Motors, VEXTA, 2012-2013.
- [32] igus, Linear Systems and Ball Bearings, Cologne: igus GmbH, 2017.
- [33] optibelt, Technical Manual Rubber Timing Belt Drives, Hoxter: Optibelt GmbH, 2017.

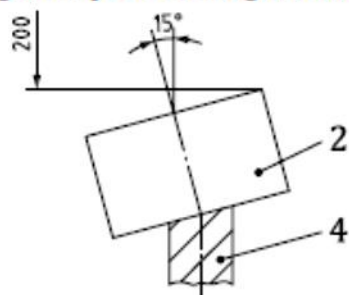
8. BIBLIOGRAFIA

9. Anexos

Anexo 1 – Especificações físicas para os ensaios queda vertical IPx1 e IPx2



a) degree of protection against water 1

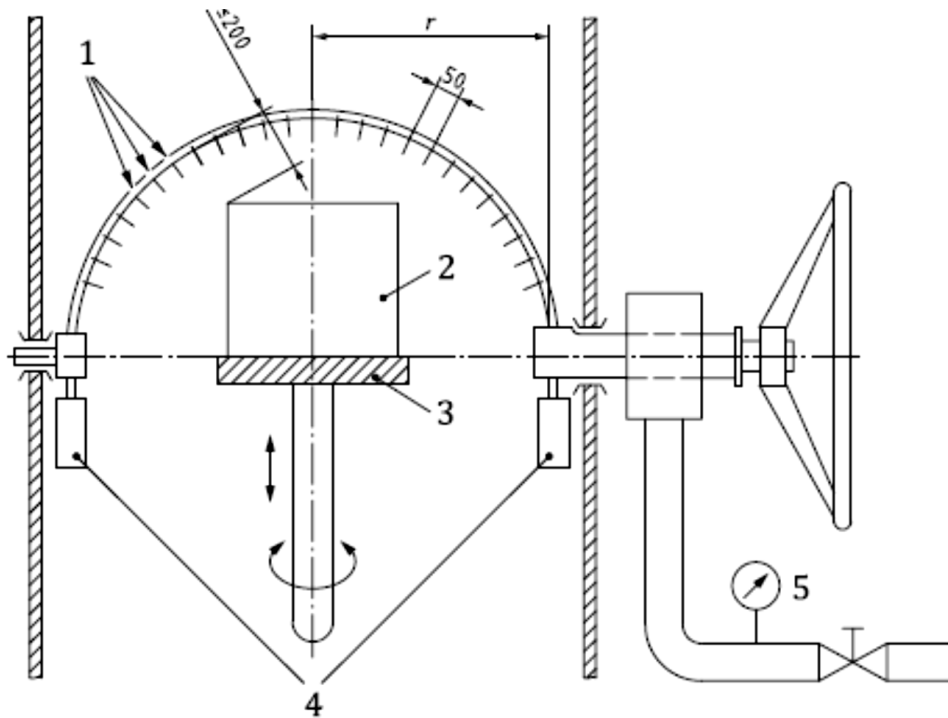


b) degree of protection against water 2

Key

- 1 adjustable water level
- 2 DUT
- 3 turntable / holder
- 4 holder
- ^a Hole pattern (sectional drawing).

Anexo 2 – Especificações para os ensaios automatizados de IPx3, IPx4 e IPx4K



Key

- 1 holes with diameter D
- 2 DUT
- 3 turntable / holder
- 4 counterweights
- 5 flow rate indicator and pressure gauge

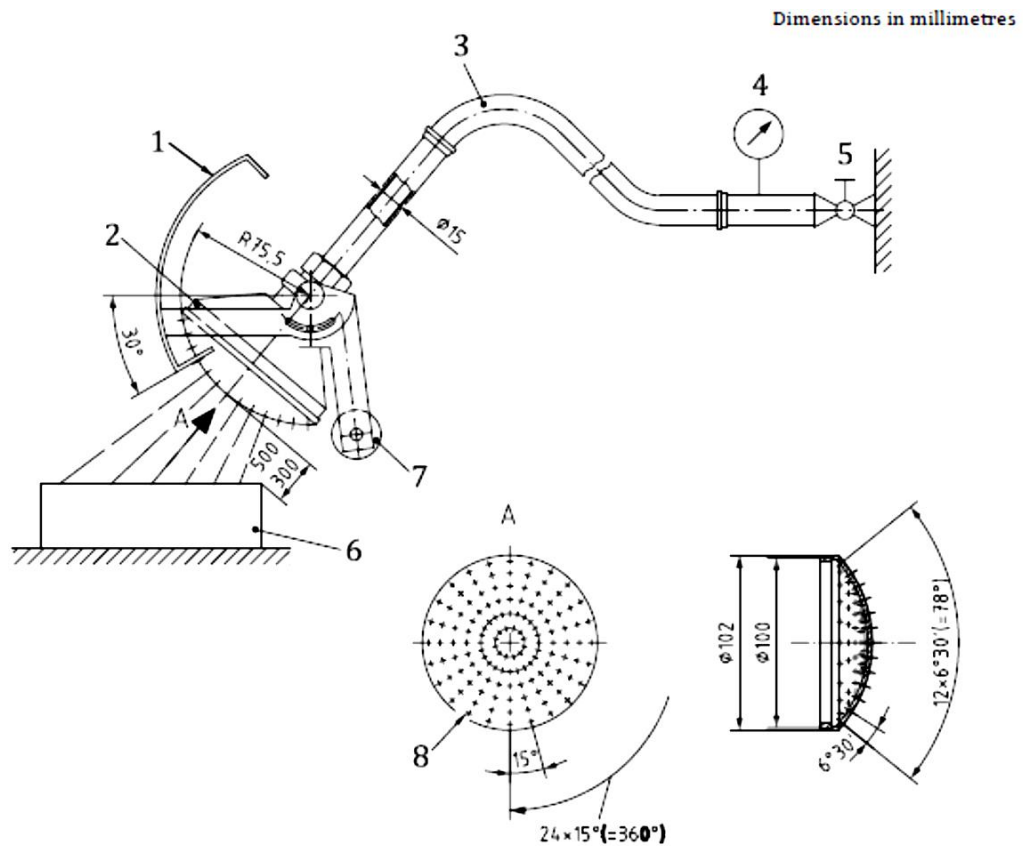
$r = 200, 400, 600, 800$ or 1600 mm; select the smallest radius depending on the size of DUT.

$D = 0,4$ mm for tests regarding degrees of protection against water 3 and 4.

$D = 0,8$ mm for tests regarding degrees of protection against water 4K.

Speed of DUT from (1 to 3) r/min.

Anexo 3 – Especificações para os ensaios IPx3 e IPx4 processo manual



Key

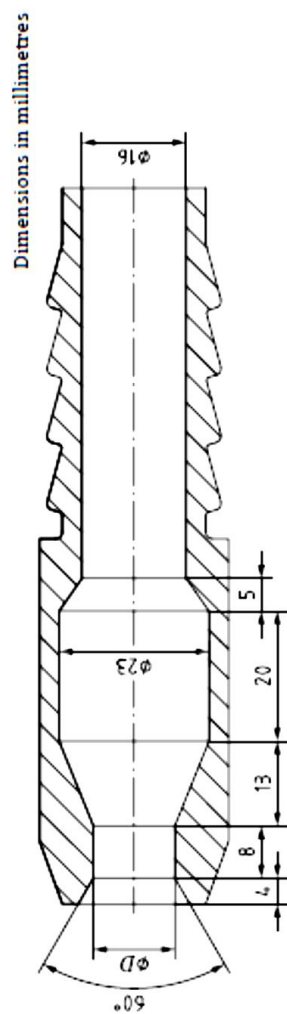
- 1 moveable cover
- 2 shower tube
- 3 hose
- 4 flow rate indicator and pressure gauge
- 5 stop-cock
- 6 DUT
- 7 counterweight
- 8 diameter of apertures

NOTE The shower tube contains 121 apertures with diameter 0,5 mm:

- 1 centre aperture,
- 2 inner circles (12 apertures at 30° pitch),
- 4 outer circles (24 openings at 15° pitch), and
- a moveable cover made from aluminium.

The shower tube shall be made from copper-zinc alloy (brass).

Anexo 4 – Especificações ensaios IPx5, IPx6 e IPx6k

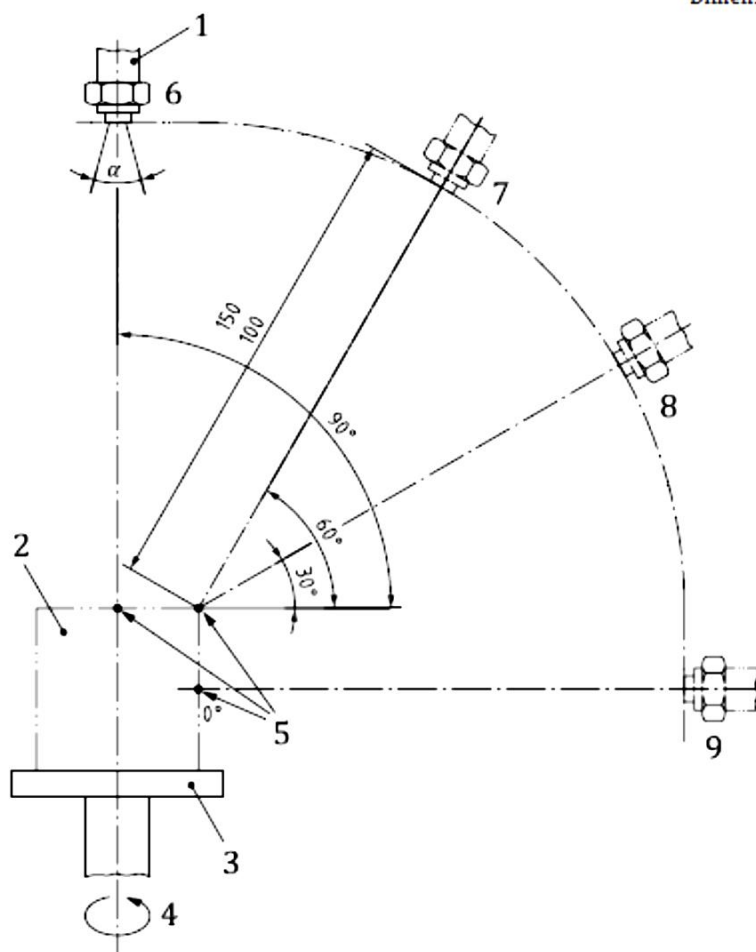


$D = 6.3$ mm for tests regarding degrees of protection against water 5 and 6K.

$D = 12.5$ mm for tests regarding degree of protection against water 6.

Anexo 5 – Especificações para ensaio IPx9K

Dimensions in millimetres



Key

- 1 fan jet nozzle
- 2 DUT
- 3 turntable/holder
- 4 swivel axis
- 5 reference points (0°, 30°, 60°, 90°) endorcing cylinder for DUT
- 6 position 1
- 7 position 2
- 8 position 3
- 9 position 4
- $\alpha = (30 \pm 10)^\circ$.

Anexo 6 - Informações de características necessárias para cada tipo de ensaio.

Tipo de teste IP	Rotação da mesa com a amostra	Tipo de equipamento	Característica do ensaio		Pressão (KPa)	Temp. Água (°C)	Tempo
IPx1	1 rpm	Mesa de agulhas	Diferencial de cota de líquido	1,0+0,5 mm/min	-	Diferença de temperatura entre equipamentos e água não superior a 5 °.	10 min.
IPx2	4 posições fixas, amostra inclinada 15 ° com a vertical			3,0+0,5 mm/min	-		2,5 min por posição
IPx3	-Rotação da mesa com a amostra 1 a 3 rpm; - Rotação do arco aprox. 10 RPM, amplitude de movimento aprox 60 ° com vertical	Arco apropriado á amostra, com furo de diâmetro 0,4 mm furos até 60° com a vertical	0,1 l/min±5%		80		10 min. (5min por posição)
IPx4	-Rotação da mesa com a amostra 1 a 3 rpm; - Rotação do arco aprox. 10 RPM, amplitude de movimento aprox 180 +- 20 ° com vertical	Arco apropriado á amostra, com furo de diâmetro 0,4 mm furos até 90° com a vertical	0,1 l/min±5%		80		

9. ANEXOS

IPx4K	-Rotação da mesa com a amostra 1 a 3 rpm; - Rotação do arco aprox. 10 RPM, amplitude de movimento aprox 180 +- 20 ° com vertical	Arco apropriado á amostra, com furo de diâmetro 0,8 mm furos até 90º com a vertical	0,6 l/min±5%	400		
IPx5	Peça virada com a superfície a testar para o jato	Bico de jato com diâmetro 6,3mm	12,5 l/min±5%	30		3 min.
IPx6		Bico de jato com diâmetro 12,5mm	100l/min±5%	100		3 min.
IPx6K		Bico de jato com diâmetro 6,3mm	75l/min±5%	1000		mínimo 3 min.
IPx7	-	Tanque de imersão com altura de 1 m	-	-		30 min.
IPx8		Tanque de imersão com altura de água pretendida	-	-		Qualquer tempo pretendido
IPx9K	Amostra a rodar 5+-1 rpm	Jato de alta pressão para 4 posições distintas (0; 30; 60; 90 °)	14 a 16 l/min	8000 a 10000	80±5 °	30 s por posição

Anexo 7 – Tabela para escolha de acoplamentos

Spielfreie Metallbalgkupplung
Backlash-free Metal Bellows Coupling

Baureihe · Series PKN

Abmessungen · Dimensions

øA – Außendurchmesser/Outer diameter
 øD1 ^{1/2} – Bohrungsdurchmesser/Bore diameter
 øD2 ^{1/2} – Bohrungsdurchmesser/Bore diameter
 øH – Stördurchmesser/Clearance diameter
 C – Geführte Länge der Wellenbohrung/Guided length shaft bore
 G – Klemmschrauben/Clamping screws
 I – Grundabmessung/Basic dimension
 K – Grundabmessung/Basic dimension
 L – Gesamtlänge/Total length
 N – Grundabmessung/Basic dimension



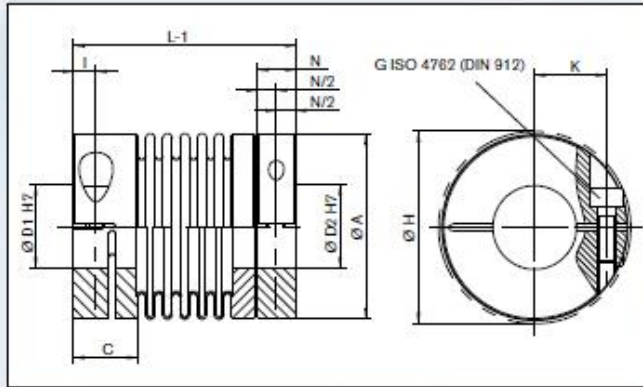
Abmessungen · Dimensions

Größe/Size	L-1	N	øA	øH	øD1 ^{1/2}	øD2 ^{1/2}	C	K	I	G
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	38	9	25	28	3-12	3-9	11	9	4	M3
4,5	47	9	33	35	6-16	6-16	13	12	5	M4
10	53	9	40	42	6-19	6-19	14	16	5	M4
18	66,5	11	45	48	10-25	10-19	20	18	6	M5
30	71	15	55	56	10-25	10-22	25	20	8	M6
60	87,5	20	66	67	14-35	14-25	29	24	10	M8
90	101,5	22	80	85	20-40	20-38	34	28	12	M10
150	101,5	22	80	85	20-40	20-38	34	28	12	M10

Trägheitsmoment und Gewicht sind mit dem größten Bohrungsdurchmesser gerechnet.
Moment of inertia and weight (mass) are calculated with reference to the largest bore size.

Bestellbeispiel / Ordering example:
PKN

Baureihe/ Series	Bohrungs-/ bore- ø D1	Bohrungs-/ bore- ø D2	Weitere Angabe/n/ Further details*
PKN 150	20 ^{1/2}	35 ^{1/2}	XX



Schnittdarstellung / Sectional view

Technische Daten - Technical Data

- T_{KN} = Nenndrehmoment/Nominal torque
- $C_y \text{ dyn}$ = Drehfedersteife/Dynamic torsional stiffness
- ΔKr = Maximal zulässiger Versatz radial/Max. approved misalignment radial
- ΔKa = Maximal zulässiger Versatz axial/Max. approved misalignment axial
- ΔKw = Maximal zulässiger Versatz winklig/Max. approved misalignment angular
- J = Trägheitsmoment/Moment of inertia
- M_A = Anzugsmoment der Schrauben/Tightening torque of screws
- n_{max} = Maximale Drehzahl/Max. rotational speed

Technische Daten - Technical Data

Größe Size	T_{KN} Nm	M_A Nm	$C_y \text{ dyn}$ 10^4 Nm/rad	n_{max} min^{-1}	ΔKa $\pm \text{ mm}$	ΔKw Grad/degree	ΔKr mm	Gewicht Weight kg	J 10^{-3} kg m^2
2	2	1	0,97	22800	0,4	1,2	0,2	0,05	0,02
4,5	4,5	3	4,8	17600	0,3	1,2	0,1	0,08	0,03
10	10	3	6	14100	0,4	1,2	0,15	0,1	0,04
18	18	6	6	12700	0,5	1,5	0,2	0,17	0,054
30	30	12	26	10200	0,4	1	0,1	0,28	0,123
60	60	30	56	8600	0,4	1	0,1	0,52	0,325
80	80	60	97	6800	0,4	1	0,2	1	0,884
150	150	85	112	6800	0,4	1	0,2	1	0,884

Passung:	Naben: Standard Passungsqualität H7 Nut: Standard Passungsqualität JS9	Fittings:	Hubs: Standard fit H7 Keyways: Standard fit JS9
Werkstoffe:	Naben aus Aluminium Metallbalg aus rostfreiem Edelstahl	Materials:	Hubs made of aluminium Metal bellows made of stainless steel
Sonderausführungen:	Kupplung komplett aus Edelstahl (auf Anfrage) Passfedernut nach DIN 6885-1	Special designs:	Coupling completely made of stainless steel (on request) Keyway acc. to DIN 6885-1

Anexo 8 - Tabela de seleção do tipo de correia

Number of teeth on the small pulley z_k	M_{spec} (Nm/cm)												
	XL	L	H	XH	T5	T10	T20	AT5	AT10	AT20*	5M*	8M*	14M*
10	0.19	0.52	—	—	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—
11	0.21	0.57	—	—	0.21	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0.22	0.62	—	—	0.22	0.90	—	0.26	1.17	—	—	—	—
13	0.24	0.67	—	—	0.24	0.98	—	0.29	1.27	—	—	—	—
14	0.26	0.72	1.08	—	0.26	1.06	—	0.31	1.38	—	0.39	—	—
15	0.28	0.77	1.15	—	0.28	1.13	4.50	0.34	1.47	5.85	0.42	—	—
16	0.30	0.83	1.23	—	0.30	1.20	4.82	0.36	1.56	6.26	0.44	—	—
17	0.32	0.87	1.31	—	0.32	1.28	5.12	0.38	1.66	6.65	0.47	—	—
18	0.34	0.92	1.39	5.41	0.34	1.36	5.41	0.41	1.77	7.03	0.50	—	—
19	0.36	0.97	1.46	5.71	0.36	1.43	5.71	0.43	1.86	7.43	0.53	—	—
20	0.38	1.03	1.54	6.02	0.38	1.51	6.02	0.46	1.96	7.82	0.55	—	—
21	0.40	1.08	1.62	6.32	0.40	1.58	6.32	0.48	2.05	8.21	0.58	—	—
22	0.42	1.14	1.70	6.62	0.42	1.66	6.62	0.50	2.16	8.61	0.61	1.74	—
23	0.44	1.18	1.78	6.92	0.44	1.74	6.92	0.53	2.26	9.00	0.64	1.83	—
24	0.46	1.24	1.86	7.23	0.46	1.81	7.23	0.55	2.35	9.39	0.67	1.90	—
25	0.48	1.29	1.94	7.53	0.48	1.89	7.53	0.58	2.46	9.79	0.69	1.98	—
26	0.50	1.35	2.02	7.82	0.50	1.96	7.82	0.60	2.55	10.16	0.72	2.06	—
27	0.51	1.40	2.09	8.12	0.51	2.04	8.12	0.62	2.65	10.56	0.75	2.14	—
28	0.53	1.45	2.17	8.42	0.53	2.11	8.42	0.64	2.74	10.95	0.78	2.22	6.57
29	0.55	1.50	2.25	8.73	0.55	2.18	8.73	0.66	2.84	11.34	0.80	2.29	6.81
30	0.57	1.55	2.33	9.03	0.57	2.26	9.03	0.68	2.94	11.74	0.83	2.37	7.04
31	0.59	1.60	2.41	9.32	0.59	2.34	9.32	0.71	3.04	12.12	0.86	2.46	7.27
32	0.61	1.66	2.49	9.62	0.61	2.42	9.62	0.73	3.15	12.51	0.89	2.54	7.51
33	0.63	1.71	2.57	9.93	0.63	2.49	9.93	0.76	3.24	12.90	0.91	2.61	7.74
34	0.65	1.76	2.65	10.23	0.65	2.57	10.23	0.78	3.34	13.30	0.94	2.70	7.98
35	0.67	1.81	2.72	10.53	0.67	2.64	10.53	0.80	3.43	13.69	0.97	2.77	8.21
36	0.69	1.87	2.80	10.83	0.69	2.72	10.83	0.83	3.54	14.08	1.00	2.86	8.45
40	0.76	2.08	3.12	12.03	0.76	3.02	12.03	0.91	3.93	15.64	1.11	3.17	9.38
48	0.91	2.48	3.73	14.44	0.91	3.62	14.44	1.09	4.71	18.77	1.33	3.80	11.26
60	1.14	3.10	4.66	18.06	1.14	4.53	18.06	1.37	5.89	23.47	1.66	4.76	14.08
72	1.37	3.73	5.59	21.66	1.37	5.44	21.66	1.64	7.07	28.16	2.00	5.71	16.90
Number of teeth in mesh	S_{spec} (N/cm)												
$z_e = 1$	23.50	34.13	38.42	85.05	23.88	47.41	94.52	28.65	61.63	122.87	34.83	62.25	105.32
ZRLV $z_{emax} = 6$	141.0	204.8	230.5	510.3	143.3	284.5	567.1	171.9	369.8	737.2	209.0	73.5	631.9
ZRL-M $z_{emax} = 12$	282.0	409.6	461.0	1020.6	286.6	567.0	1134.2	343.8	739.6	1474.4	418.0	747.0	1263.8
Number of teeth in mesh	S_{zul} (N) for maximum section width**												
Width (mm)	9.5	25.4	76.2	101.6	25	50	100	25	50	100	25	85	115
ZRLV $z_{emax} = 6$	135	520	1760	5185	360	1425	5675	430	1850	7375	522.5	3175	7270
ZRL-M $z_{emax} = 12$	270	1040	3520	10370	720	2850	11350	860	3700	14750	1045.0	6350	14540

Anexo 9 - Escolha do método de tensionamento de correia sincronizadora

Formulae

Tension factor c_v

$$c_v = \frac{c_2 - 1}{2} + 0.9 \quad 1.05 \leq c_v$$

Tensioning

1st method

Tensioning distance x_v

$$x_v = \frac{c_v \cdot 0.001 \cdot L_{wnom}}{c_2 \cdot 2}$$

for $i = 1$

or

2nd method

Test force F_v and deflection e_v for span length L

$$F_v = \frac{c_v \cdot S_{n3}}{20} \quad S_{n3}, \text{ see earlier calculation, also formulae on page 13}$$

$$e_v = \frac{L}{50}$$

$L = a_{nom}$ for $i = 1^*$

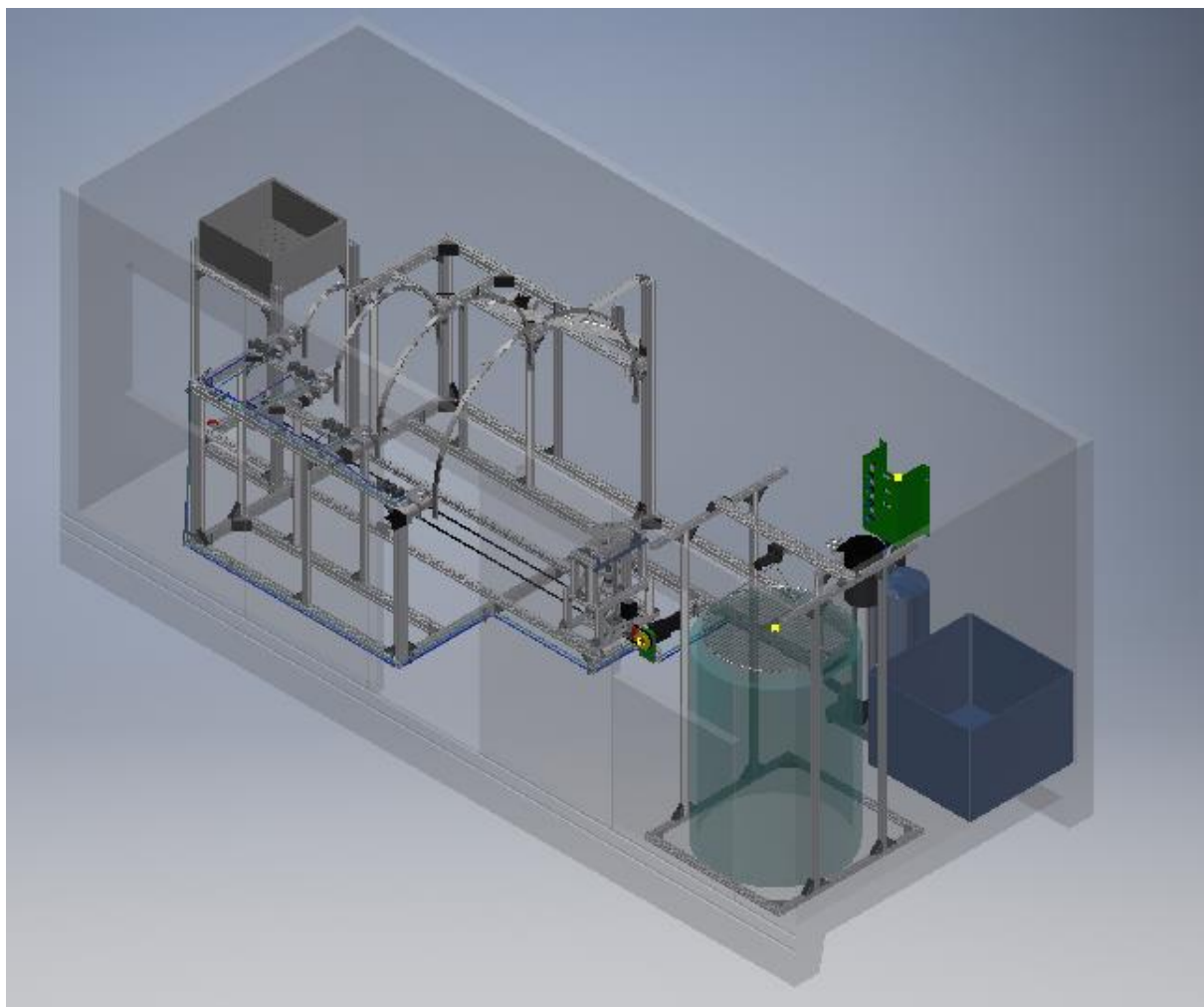
or

3rd method

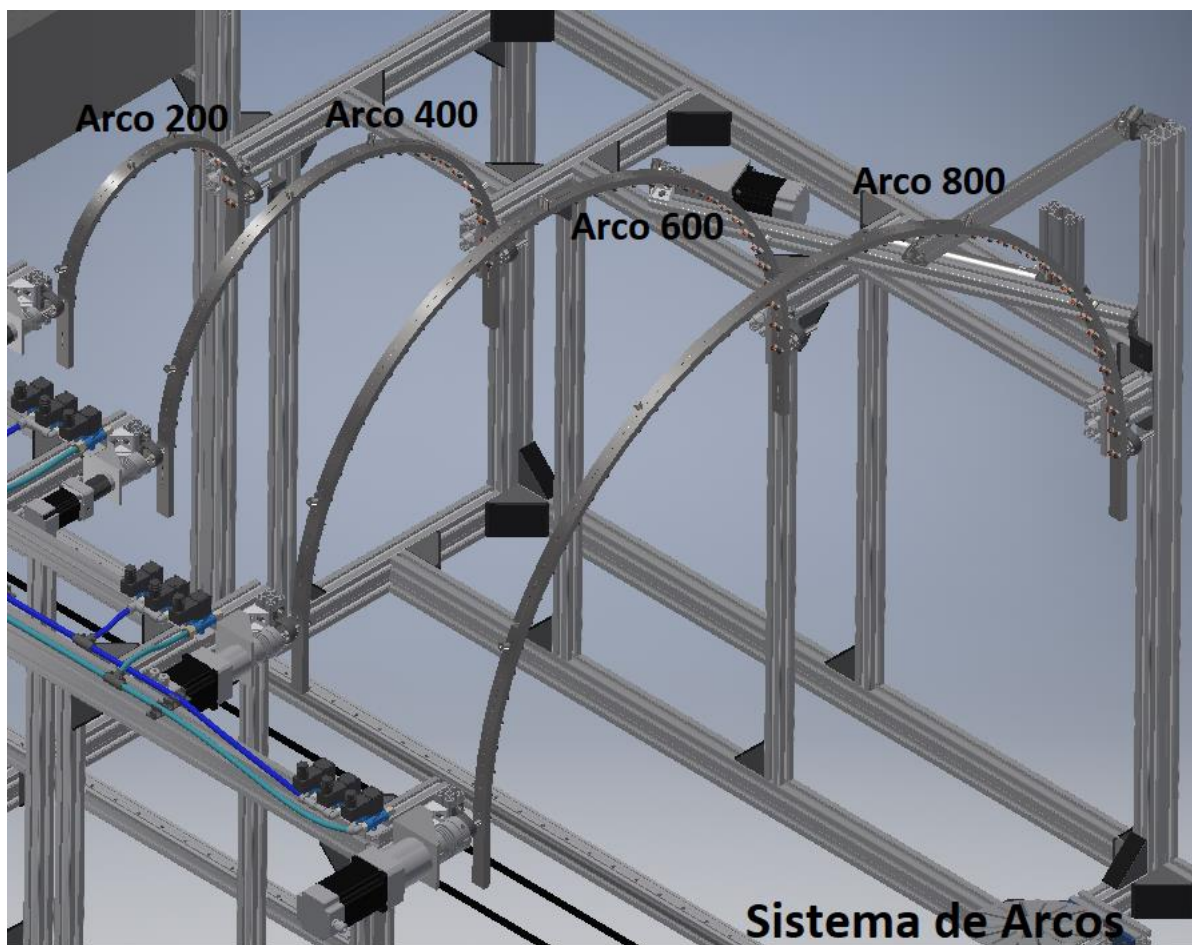
$$S_a = c_v \cdot S_{n3} \quad S_{n3}, \text{ see earlier calculation, also formulae on page 13}$$

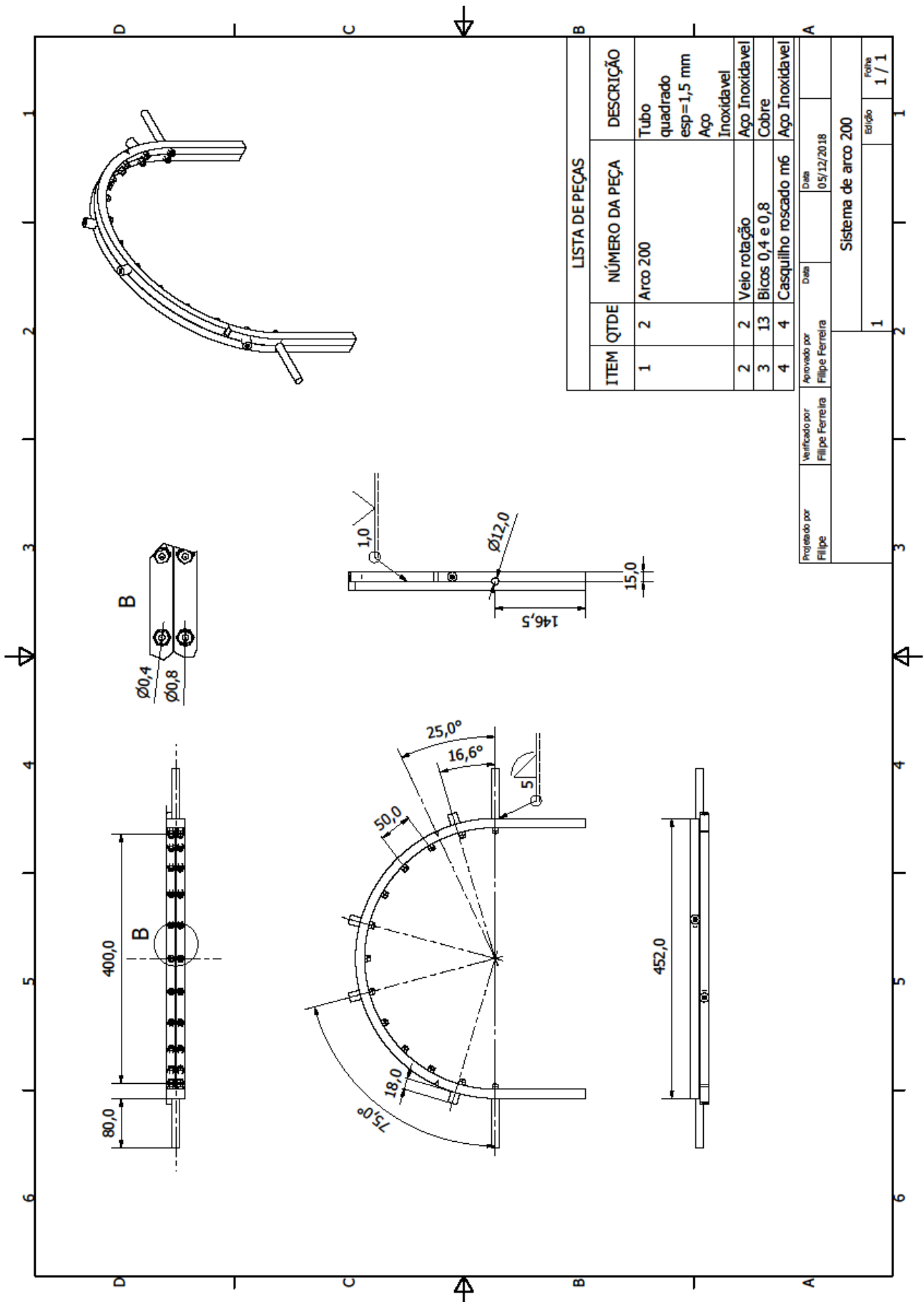
for $i = 1^*$

Anexo 10 – Laboratório IPs



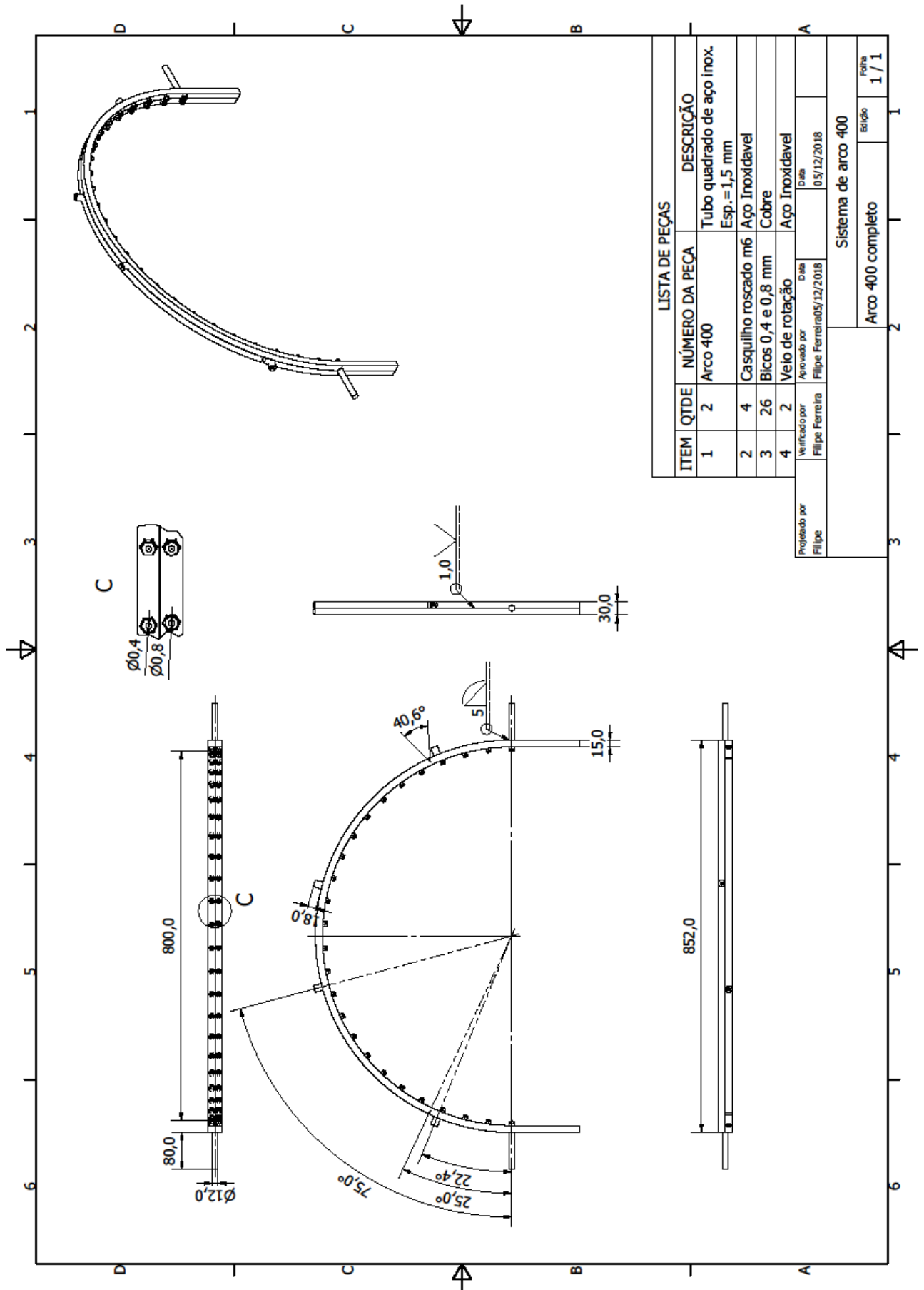
Anexo 11 - Desenho dos arcos

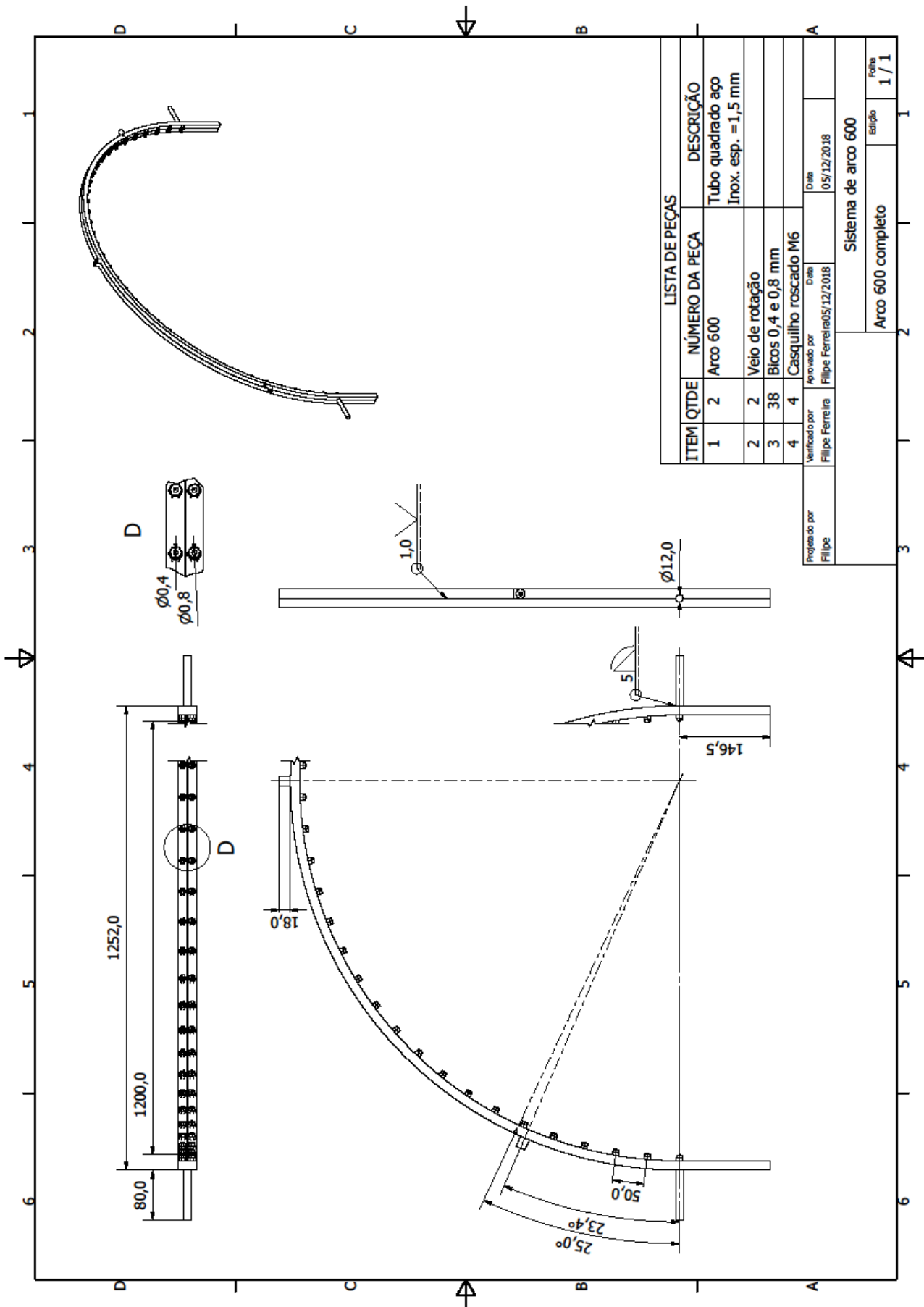


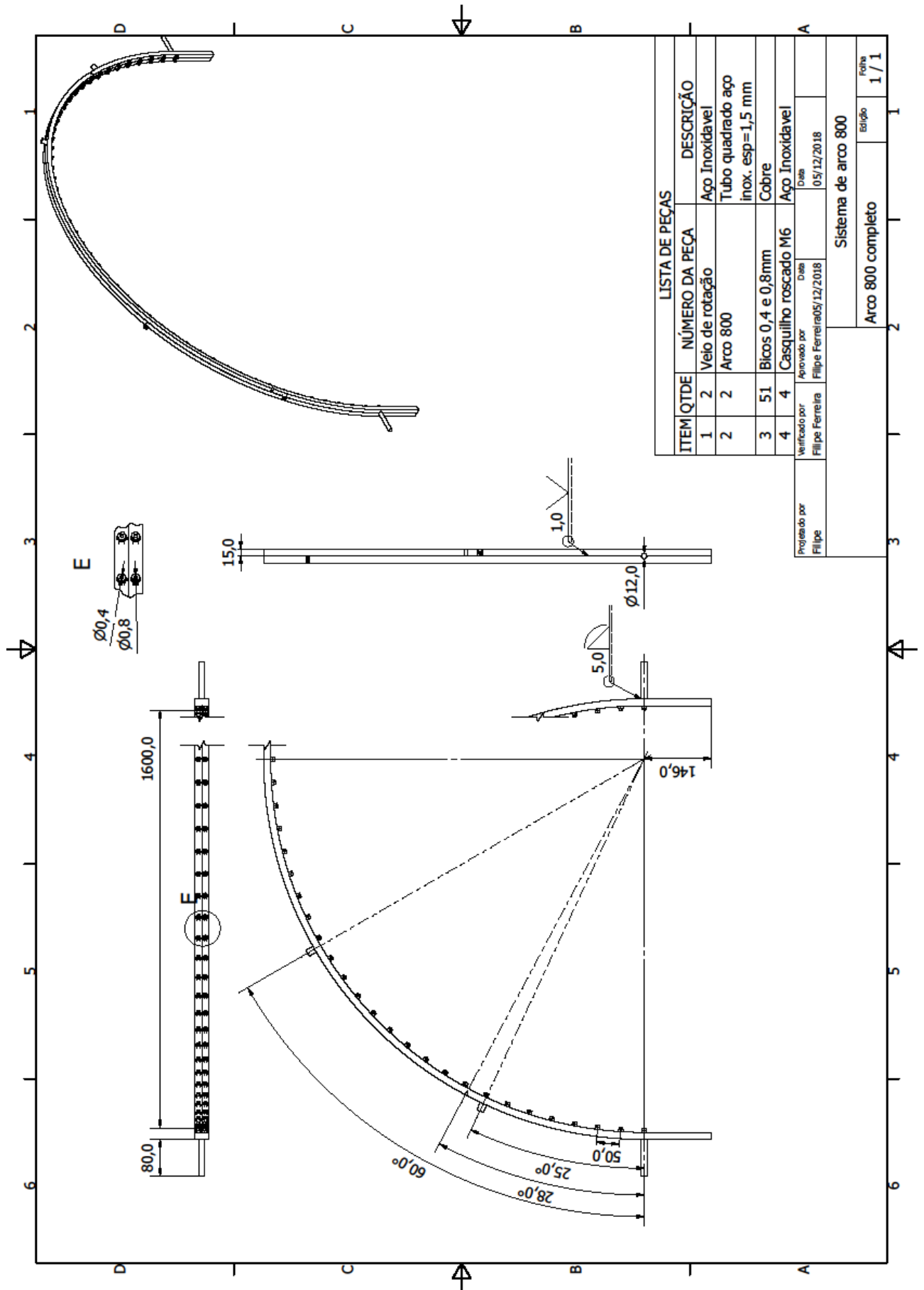


LISTA DE PEÇAS			
ITEM	QTD	NÚMERO DA PEÇA	DESCRIÇÃO
1	2	Arco 200	Tubo quadrado esp=1,5 mm
2	2	Velo rotação	Aço Inoxidável
3	13	Bicos 0,4 e 0,8	Cobre
4	4	Casquilho roscado m6	Aço Inoxidável

Projeto por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018
Sistema de arco 200			
1			Folha 1 / 1

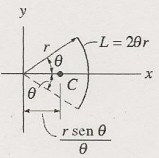
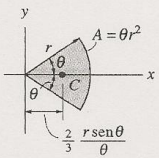
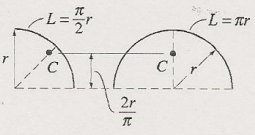
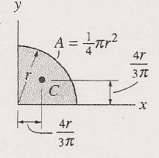
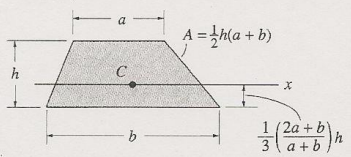
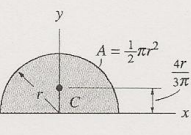
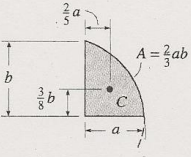
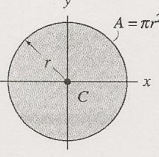
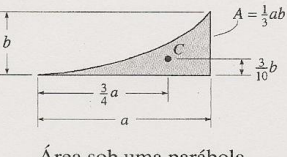
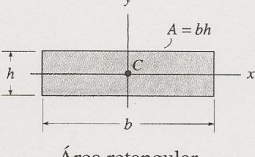
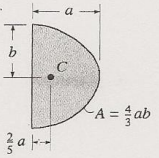
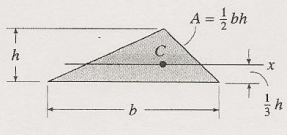






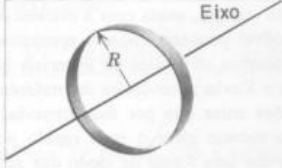
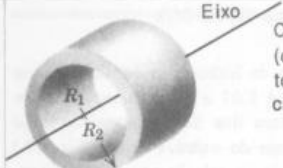
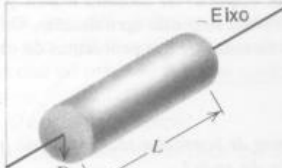




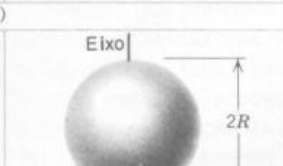
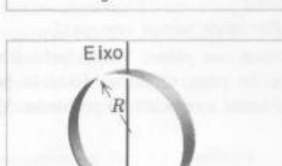

Anexo 12 – Dados geométricos

Propriedades Geométricas dos Elementos de Linha e de Área

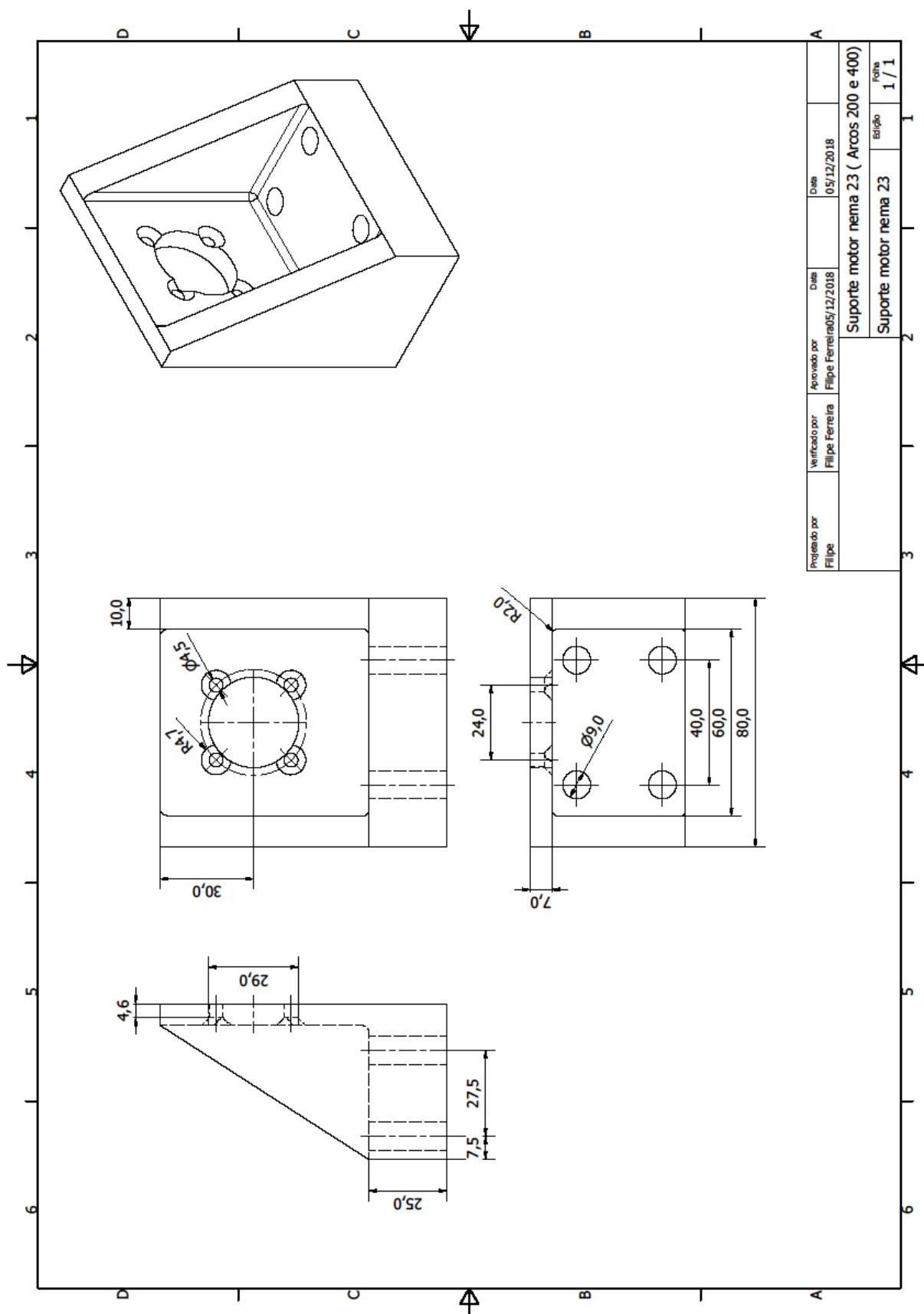
Localização do Centróide	Localização do Centróide	Momento de Inércia de Área
 <p>Segmento de arco circular</p>	 <p>Área de um setor circular</p>	$I_x = \frac{1}{4} r^4 \left(\theta - \frac{1}{2} \text{sen } 2\theta \right)$ $I_y = \frac{1}{4} r^4 \left(\theta + \frac{1}{2} \text{sen } 2\theta \right)$
 <p>Arcos semicircular e de um quarto de círculo</p>	 <p>Área de um quarto de círculo</p>	$I_x = \frac{1}{16} \pi r^4$ $I_y = \frac{1}{16} \pi r^4$
 <p>Área trapezoidal</p>	 <p>Área semicircular</p>	$I_x = \frac{1}{8} \pi r^4$ $I_y = \frac{1}{8} \pi r^4$
 <p>Área semiparabólica</p>	 <p>Área circular</p>	$I_x = \frac{1}{4} \pi r^4$ $I_y = \frac{1}{4} \pi r^4$
 <p>Área sob uma parábola</p>	 <p>Área retangular</p>	$I_x = \frac{1}{12} b h^3$ $I_y = \frac{1}{12} h b^3$
 <p>Área parabólica</p>	 <p>Área triangular</p>	$I_x = \frac{1}{36} b h^3$

9. ANEXOS

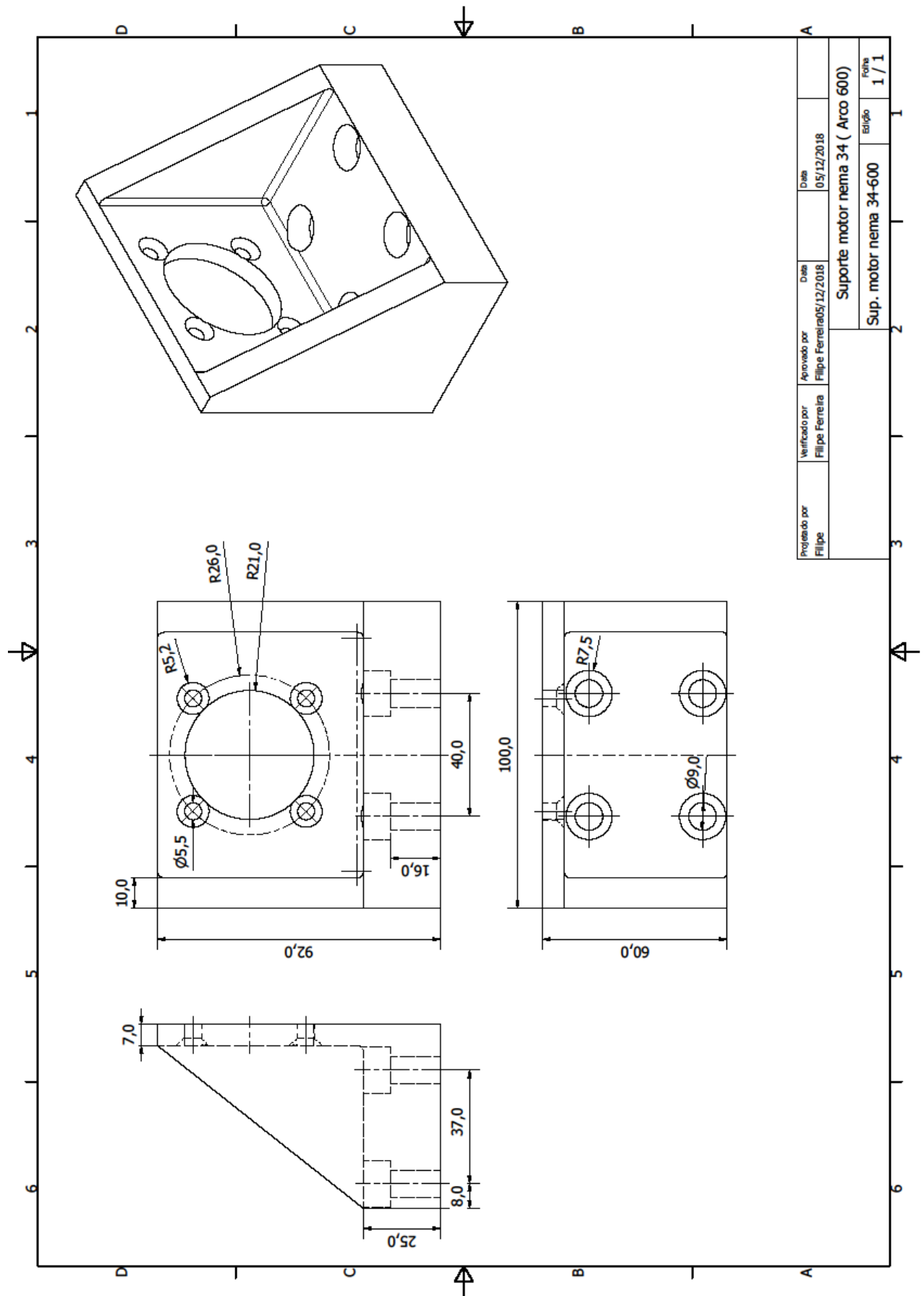
Tabela 2 Alguns Momentos de Inércia

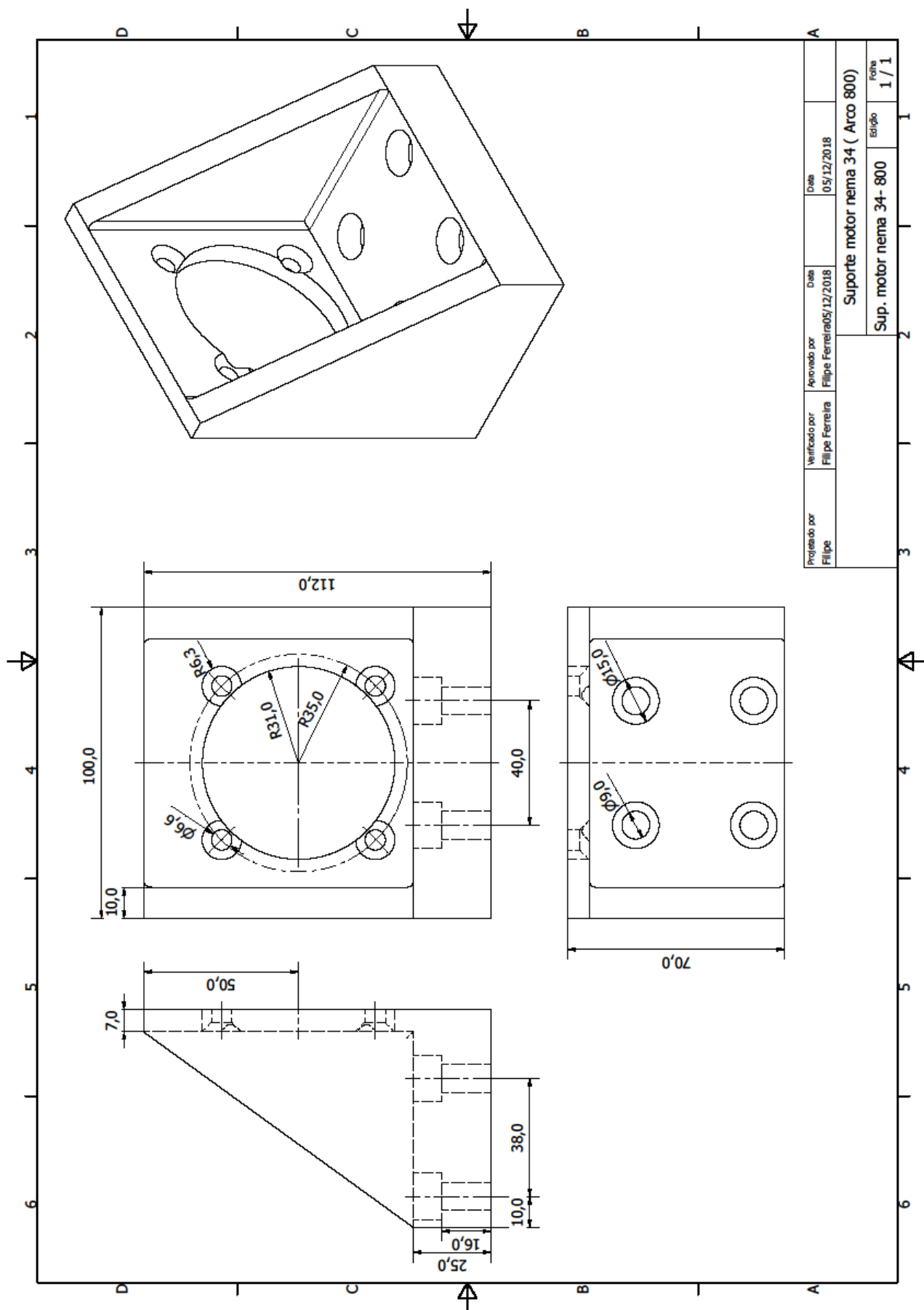
 <p>Aro em torno do eixo do cilindro</p> $I = MR^2$	 <p>Cilindro anular (ou anel) em torno do eixo do cilindro</p> $I = \frac{M}{2} (R_1^2 + R_2^2)$
 <p>Cilindro sólido (ou disco) em torno do eixo do cilindro</p> $I = \frac{MR^2}{2}$	 <p>Cilindro sólido (ou disco) em torno de um diâmetro central</p> $I = \frac{MR^2}{4} + \frac{ML^2}{12}$
 <p>Vareta delgada em torno do eixo que passa pelo seu centro \perp ao seu comprimento</p> $I = \frac{ML^2}{12}$	 <p>Vareta delgada em torno de um eixo que passa por uma das extremidades \perp ao seu comprimento</p> $I = \frac{ML^2}{3}$
 <p>Esfera sólida em torno de qualquer diâmetro</p> $I = \frac{2MR^2}{5}$	 <p>Casca esférica delgada em torno de qualquer diâmetro</p> $I = \frac{2MR^2}{3}$
 <p>Aro em torno de qualquer diâmetro</p> $I = \frac{MR^2}{2}$	 <p>Placa em torno do eixo \perp que passa pelo seu centro</p> $I = \frac{M(a^2 + b^2)}{12}$

Anexo 13 – Cotação dos suportes de motor dos arcos



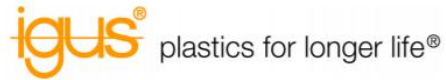
9. ANEXOS





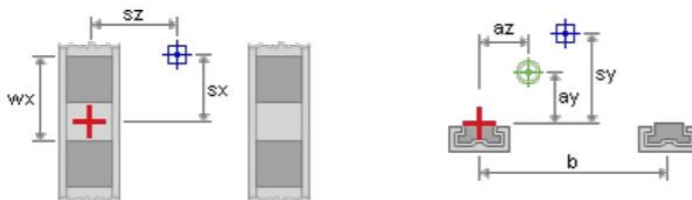
9. ANEXOS

Anexo 14 – Seleção das guias lineares horizontais



igus® Lda.
 R. Eng. Ezequiel
 Campos, 239
 4100-231 Porto
 Phone: +351 22 6109000
 Fax: +351 22 8328321
 E-Mail: info@igus.pt

Configurador drylin® para guias lineares

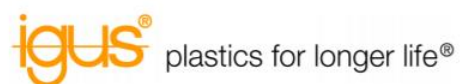


Seleção

SISTEMA	2 x NS-01-40 4 x NW-11-40	
Versão	drylin® N - furos passantes	
Tipo de patim/carruagem	Sobremoldado	
Pré-carga	Não	
Material da guia linear	Alumínio anodizado	
Anodização	Anodizado claro	
Quantidade/posição das guias	2 guias	
Distância entre as guias (b)	540	mm
Patins por guia linear	2 patins	
Distância entre patins (wx)	200	mm
Tipo de montagem	Horizontal	
Acionamento	Acionamento simples sem patins fixos/flutuantes	
Coordenadas do acionamento (ay)	-10,0	mm
Coordenadas do acionamento (az)	270,0	mm
Coordenadas do centro de massa (sx)	0,0	mm
Coordenadas do centro de massa (sy)	300,0	mm
Coordenadas do centro de massa (sz)	270,0	mm
Peso	600	N
Aceleração	0,06	m/s ²
Distância a percorrer	200	km
Comprimento das guias	3.000	mm

Resultado

Características de funcionamento	OK	
Carga	OK	
Desgaste	OK	
Desgaste na direção y	0,01	mm
Desgaste na direção z	0,13	mm
Velocidade máx. contínua permitida	0,27	m/s



Força de acionamento mínima necessária	263	N
Temperatura admissível do casquilho	90	°C
Carga máxima calculada na direção y	156	N
Fator de segurança na direção y	1,12	
Carga máxima calculada na direção z	348	N
Fator de segurança na direção z	1,01	
Folga no centro da massa (sem desgaste de utilização)	0,33	mm
Folga no centro da massa (após percorrer a distância desejada)	0,84	mm

Garantia de produto

As informações contidas neste software e, particularmente, os dados do especialista são baseados no estado atual de nosso conhecimento sobre os produtos descritos. Uma garantia juridicamente vinculativa de certas propriedades ou da adequação a certo uso não pode ser derivada. A igus® não assume qualquer responsabilidade por perdas resultantes do uso dos produtos.

Recomendamos que seja sempre verificada a adequação dos produtos para um determinado fim em um teste de campo. Aproveite nossos serviços de consultoria.

Devido ao contínuos avanços técnicos, nós nos reservamos o direito de fazer a qualquer momento mudanças técnicas e melhorias nos produtos.

Anexo 15 – Sistema servo motor horizontal

Informação de produto



Designação de catálogo

PSF521CMP63L/PK/RH1M/KK
 Servoredutor planetário PS..F / PS..C + Servomotores síncrono CMP (Dinâmica Elevada)

Dados do produto



Velocidade nominal nN	[1/min] : 4600
Velocidade de saída	[1/min] : 643,00
Relação de Transmissão média	: 7,00
Binário de saída Mmax	[Nm] : 300,00
Binário dinâmico de saída MaDfn	[Nm] : 210
Posição de montagem	: M1
Base / Revestimento superior	: 9006 Preto Escuro (51392010)
Posição da caixa de terminais	[°] : 270
Posição da entrada de cabos/conector	: normal, 2,3
Eixo de saída	[mm] : 32x58
Carga radial máxima permitida para n=1400	[N] : 6700
Quantidade de lubrificante Redutor 1	[Litro] : 0,14
Diâmetro do flange	[mm] : 90/120 (Ressalto de centragem / Círculo do furo)
Binário estático M0	[Nm] : 7,10
Fator de duração	: S1-100%
Tensão do motor	[V] : 230
Esquema de ligações	: DT11
Corrente estática I0	[A] : 12,01
corrente permitida máx.	[A] : 72,00
China (GB18613)	: F
Tipo de protecção	: IP65
Momento de inércia de massa do motor [10 ⁻⁴ kgm ²]	: 2,69
Peso Líquido	[Kg] : 16

Funções Adicionais

Eixo de saída: 32x58 mm
 Protecção IP 66 - motor padrão
 FKw
 IEC34-1
 Sensor de temperatura PT1000
 RH1M- resolver
 KK - Caixa de terminais, cabo do motor e do encoder fixáveis

As informações atuais do produto não representam uma proposta em termos legais. Os dados técnicos e os preços devem ser confirmados em uma verificação técnica e comercial final. Essa verificação é realizada ao criar a proposta/pedido. Um contrato juridicamente vinculativo surge um pedido emitido pelo requerente e uma confirmação do pedido emitida pela SEW-EURODRIVE PORTUGAL. Os preços indicados nas informações deste produto são baseados nos descontos comerciais.
 Europe (CE/USA/UK/Canada/CSA)China
 Concebido na classe: 2018-11-10 12:55:30 / /
 DC Version 2.27 BP1

Anexo 16 – Seleção rolamento da correia



Table of Contents	
1.	Designation: 3200 A-2RS1
1.1	Bearing rating life
1.2	Minimum load
1.3	Bearing frequencies
1.4	Viscosity
1.5	Equivalent dynamic bearing load

1. Designation: 3200 A-2RS1 Type: Angular contact ball bearing

Bearing Data				
d	D	B	C	C ₀
10 mm	30 mm	14 mm	7.61 kN	4.3 kN

1.1 Bearing rating life

Input Parameters

F _r Radial load	3.832 kN
F _a Axial load	0 kN
n _i Rotational speed of the inner ring	466 r/min
Operating temperature Bearing outer ring	25 °C
η _c specification method	Cleanliness classification (recommended)
Lubricant type and cleanliness	Normal cleanliness (e.g. shielded bearing)
Grease used in the bearing	GJN
Viscosity at 40 °C	115.0 mm ² /s
Viscosity at 100 °C	12.2 mm ² /s

Warning

κ=4 gives full surface separation, hence the SKF rating life has no additional lubrication benefit for κ>4.

Operating at κ>4 is possible but depending on the speed and lubricant quantity, may lead to higher friction and temperature.

9. ANEXOS



The bearing load is high ($C/P=2$). Please contact SKF Application Engineering.

Result

L_{10mh} SKF rating life	220 hour
a_{SKF} SKF life modification factor a_{SKF}	0.79
κ Viscosity ratio	5.4
P Equivalent dynamic bearing load	3.83 kN
η_c Factor for contamination level	0.33
v_1 Required kinematic viscosity for $\kappa=1$	52.4 mm ² /s
L_{10h} Basic rating life	280 hour
C/P Load ratio	2

1.2 Minimum load

Input Parameters

n_i Rotational speed of the inner ring	466 r/min
Operating temperature Bearing outer ring	25 °C
Grease used in the bearing	GJN
Viscosity at 40 °C	115.0 mm ² /s
Viscosity at 100 °C	12.2 mm ² /s

Result



F_{rm} Minimum radial load	0.06 kN
---------------------------------	---------

1.3 Bearing frequencies

Input Parameters

n_i Rotational speed of the inner ring	466 r/min
n_e Rotational speed of the outer ring (only used to calculate the bearing frequencies)	0 r/min

Result

f_i Rotational frequency of the inner ring	7.77 Hz
f_e Rotational frequency of the outer ring	0 Hz
f_c Rotational frequency of the rolling element and cage assembly	3.08 Hz
f_r Rotational frequency of a rolling element about its own axis	15.6 Hz
f_{ip} Over-rolling frequency of one point on the inner ring	37.5 Hz
f_{ep} Over-rolling frequency of one point on the outer ring	24.7 Hz
f_{rp} Over-rolling frequency of one point on a rolling element	31.2 Hz

n_i Rotational speed of the inner ring	466 r/min
Operating temperature Bearing outer ring	25 °C
Grease used in the bearing	GJN
Viscosity at 40 °C	115.0 mm ² /s
Viscosity at 100 °C	12.2 mm ² /s

Result

v Lubricant viscosity at operating temperature	282.7 mm ² /s
v_1 Required viscosity at operating temperature for $\kappa=1$	52.4 mm ² /s
v_{ref} Required viscosity at 40 °C for $\kappa=1$	26.1 mm ² /s
κ Viscosity ratio	5.4

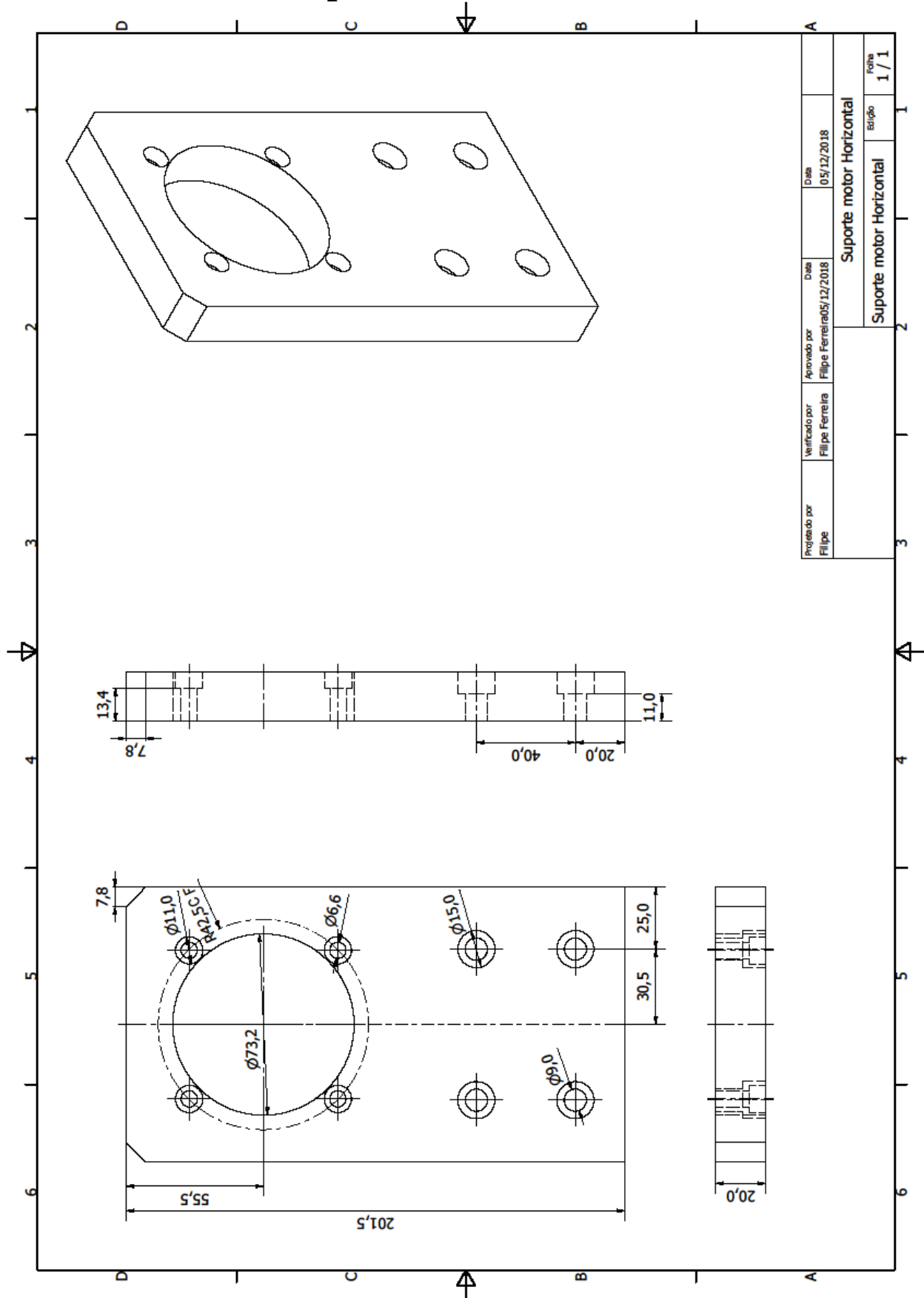
1.5 Equivalent dynamic bearing load**Input Parameters**

F_r Radial load	3.832 kN
F_a Axial load	0 kN

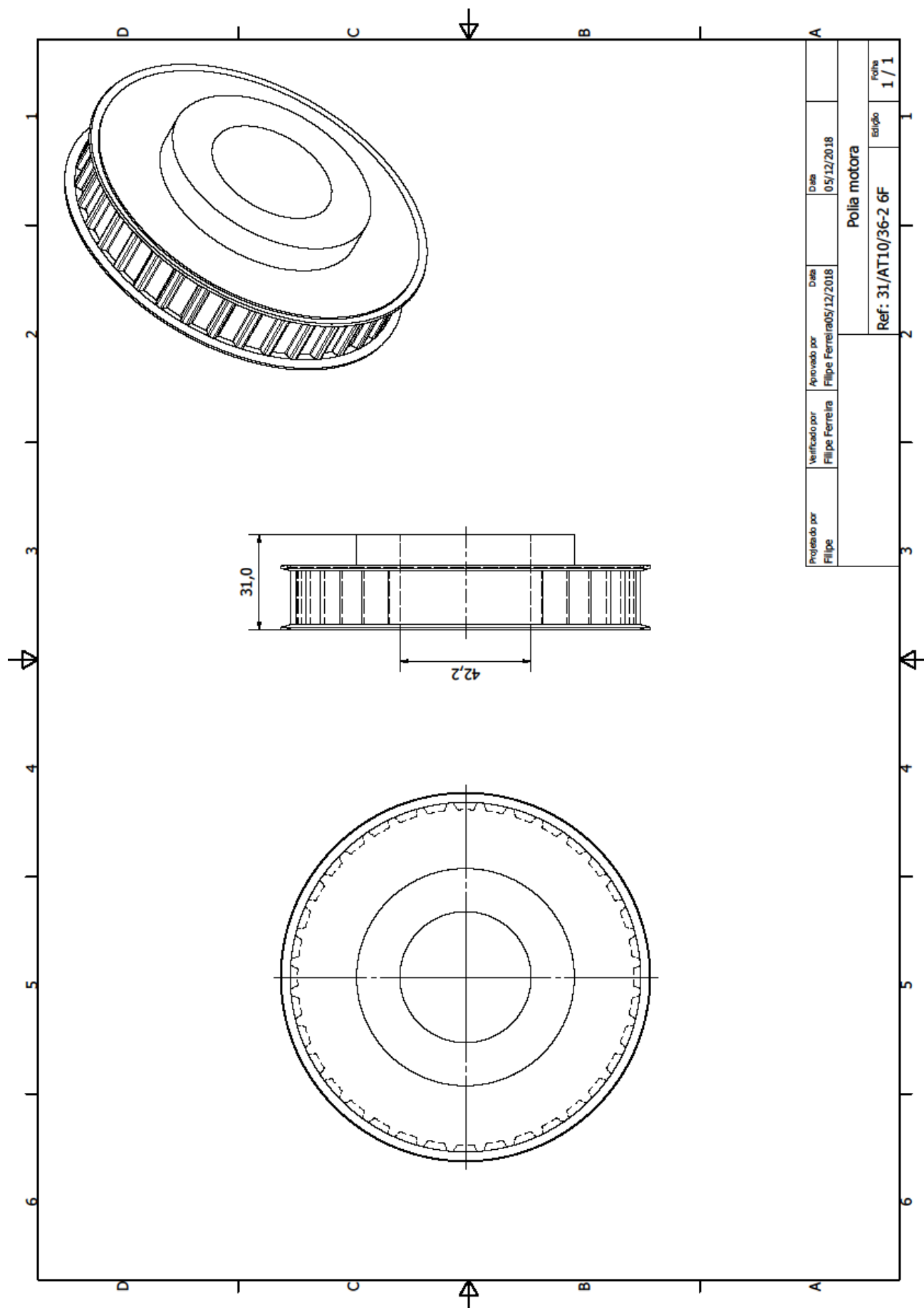
Result

P Equivalent dynamic bearing load	3.83 kN
----------------------------------------	---------

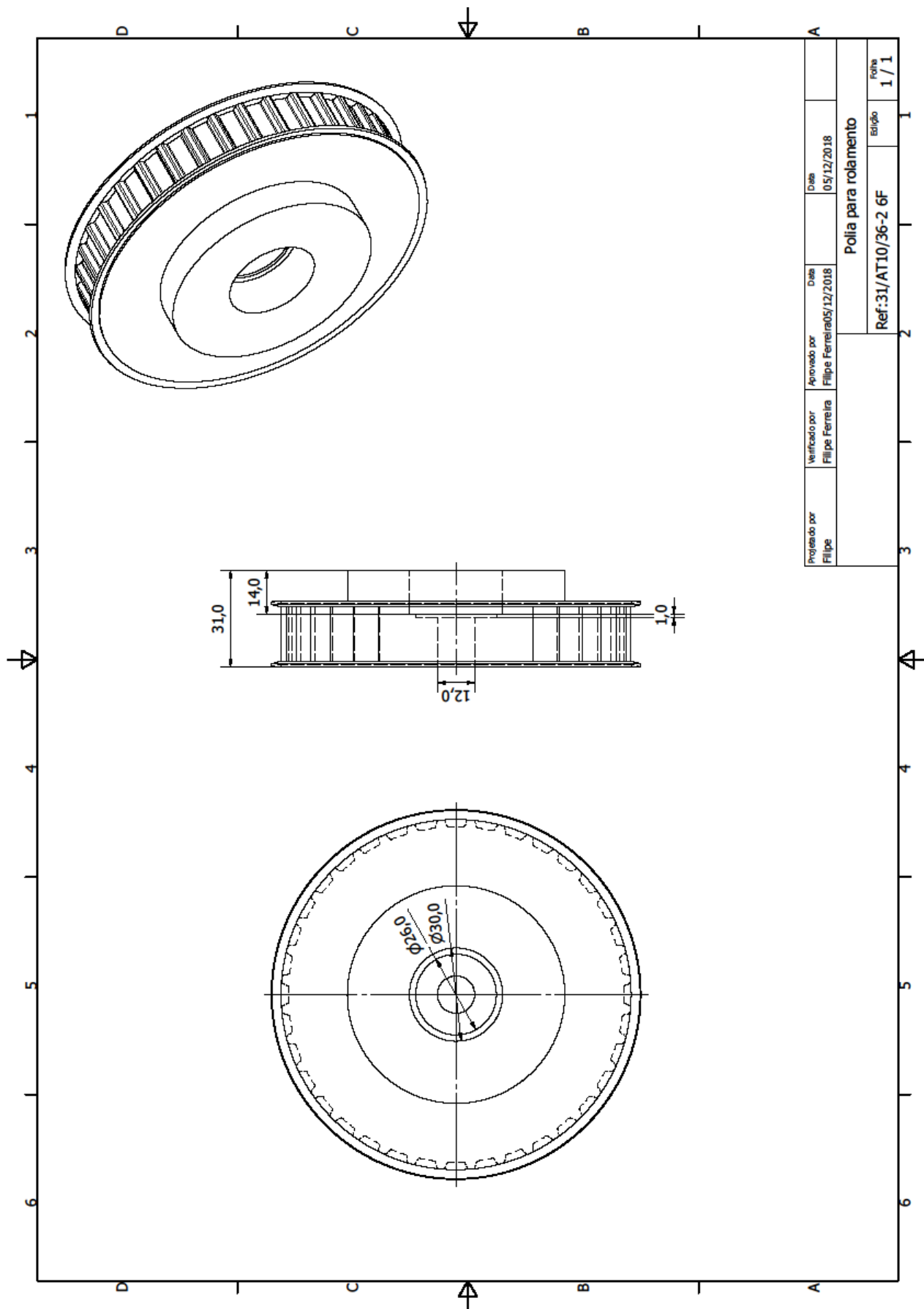
Anexo 17 – Componente movimento horizontal



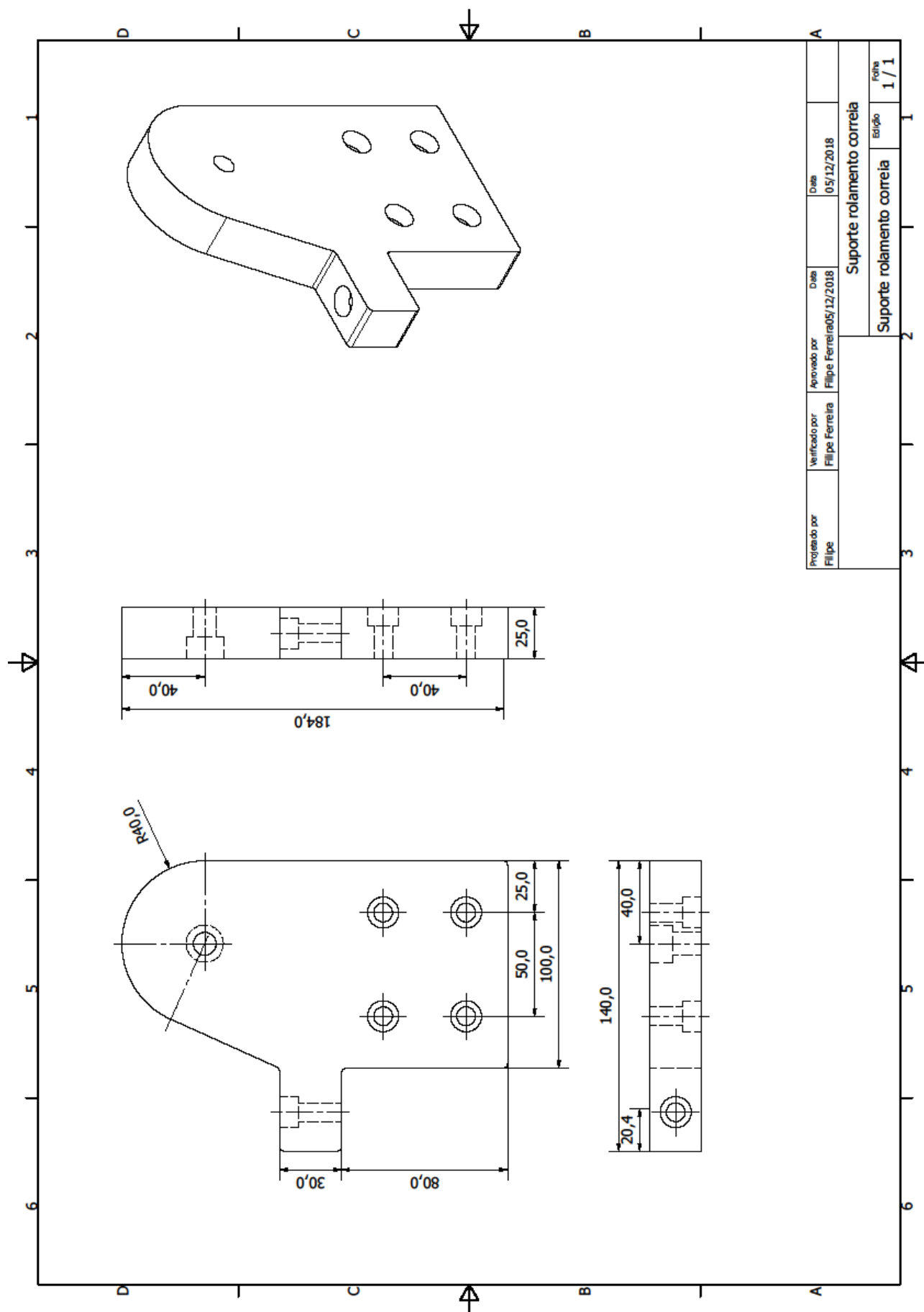
9. ANEXOS



Projeto por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018	Data 05/12/2018
Polia motora				
Ref: 31/AT10/36-2 6F			Edição 1 / 1	Folha 1 / 1

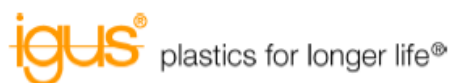


Projeto por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018	Data 05/12/2018	
Polia para rolamento					
Ref:31/AT10/36-2 6F					Folha 1 / 1



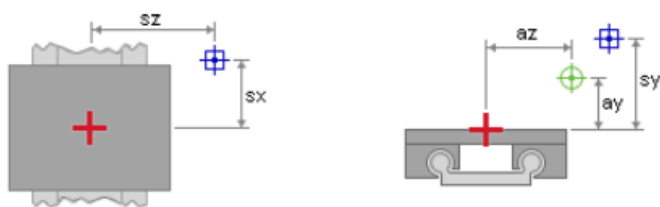
Projeto por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018	Data 05/12/2018
Suporte rolamento correia				
Suporte rolamento correia				Edição 1 / 1

Anexo 18 – Seleção das guias lineares verticais



igus® Lda.
R. Eng. Ezequiel
Campos, 239
4100-231 Porto
Phone: +351 22 6109000
Fax: +351 22 8328321
E-Mail: info@igus.pt

Configurador drylin® para guias lineares



Seleção

SISTEMA	1 x WS-10-40 1 x WW-10-40-10	
Versão	drylin® W - guia dupla e carruagem montada, guia redonda	
Material da carruagem	Zinco	
Material do casquilho	iglidur® J200 - para veios em alumínio	
Travão manual	Não	
Ajuste da folga	Sem	
Material da guia linear	Alumínio anodizado duro	
Furação	Furação simétrica	
Quantidade/posição das guias	1 guia	
Patin por guia	1 casquilho	
Tipo de montagem	Vertical	
Acionamento	Acionamento síncrono paralelo	
Coordenadas do acionamento (ay)	-2,0	mm
Coordenadas do centro de massa (sx)	0,0	mm
Coordenadas do centro de massa (sy)	0,0	mm
Coordenadas do centro de massa (sz)	0,0	mm
Peso	225	N
Aceleração	1	m/s ²
Distância a percorrer	1.000	km
Comprimento das guias	500	mm

9. ANEXOS

Resultado

Características de funcionamento	OK	
Carga	OK	
Desgaste	OK	
Desgaste na direção y	0,03	mm
Desgaste na direção z	0,00	mm
Velocidade máx. contínua permitida	5,00	m/s
Força de acionamento mínima necessária	253	N
Temperatura admissível do casquilho	90	°C
Carga máxima calculada na direção y	4	N
Fator de segurança na direção y	159,17	
Carga máxima calculada na direção z	0	N
Fator de segurança na direção z	4.999,50	
Folga no centro da massa (sem desgaste de utilização)	0,10	mm
Folga no centro da massa (após percorrer a distância desejada)	0,13	mm

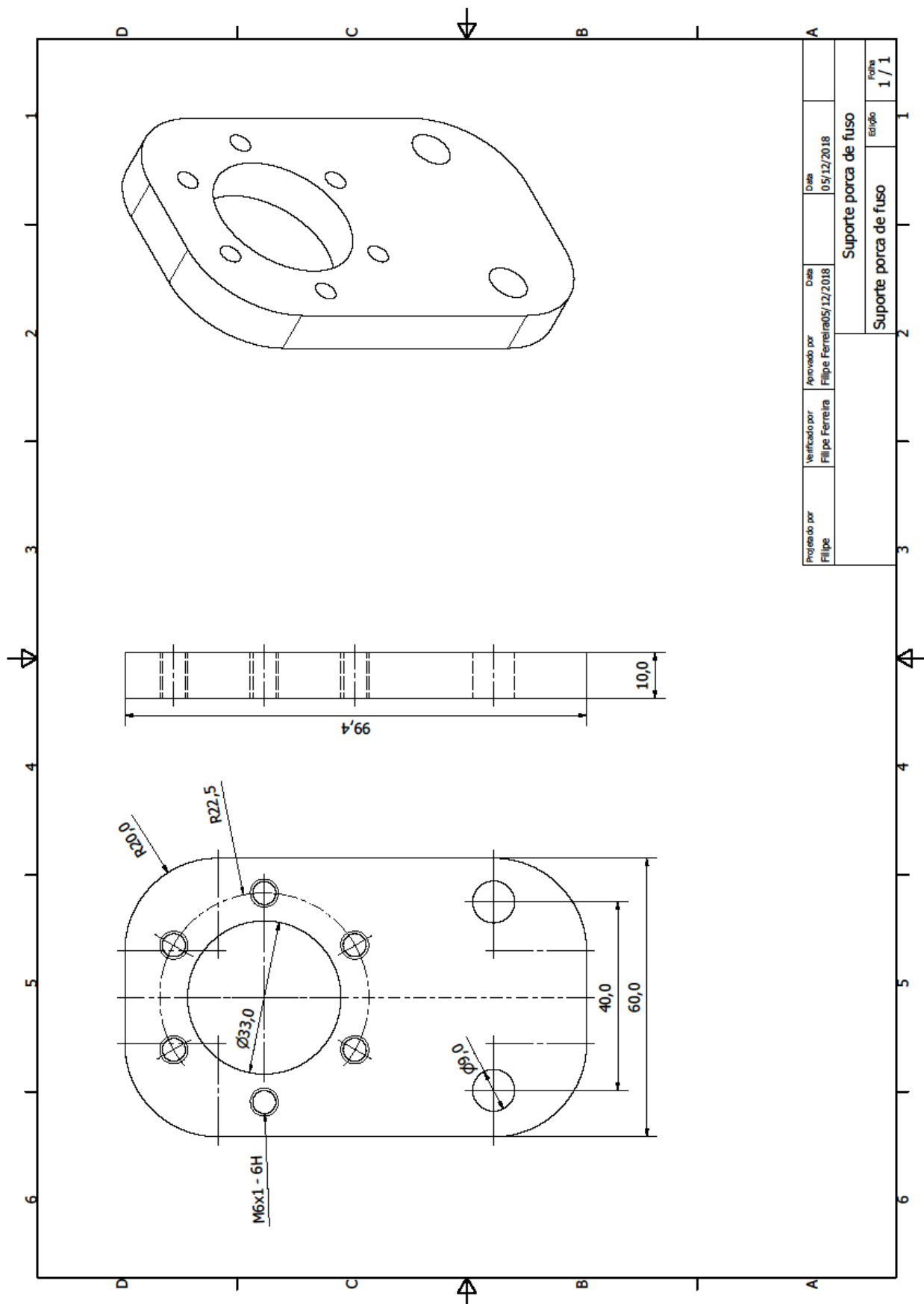
Garantia de produto

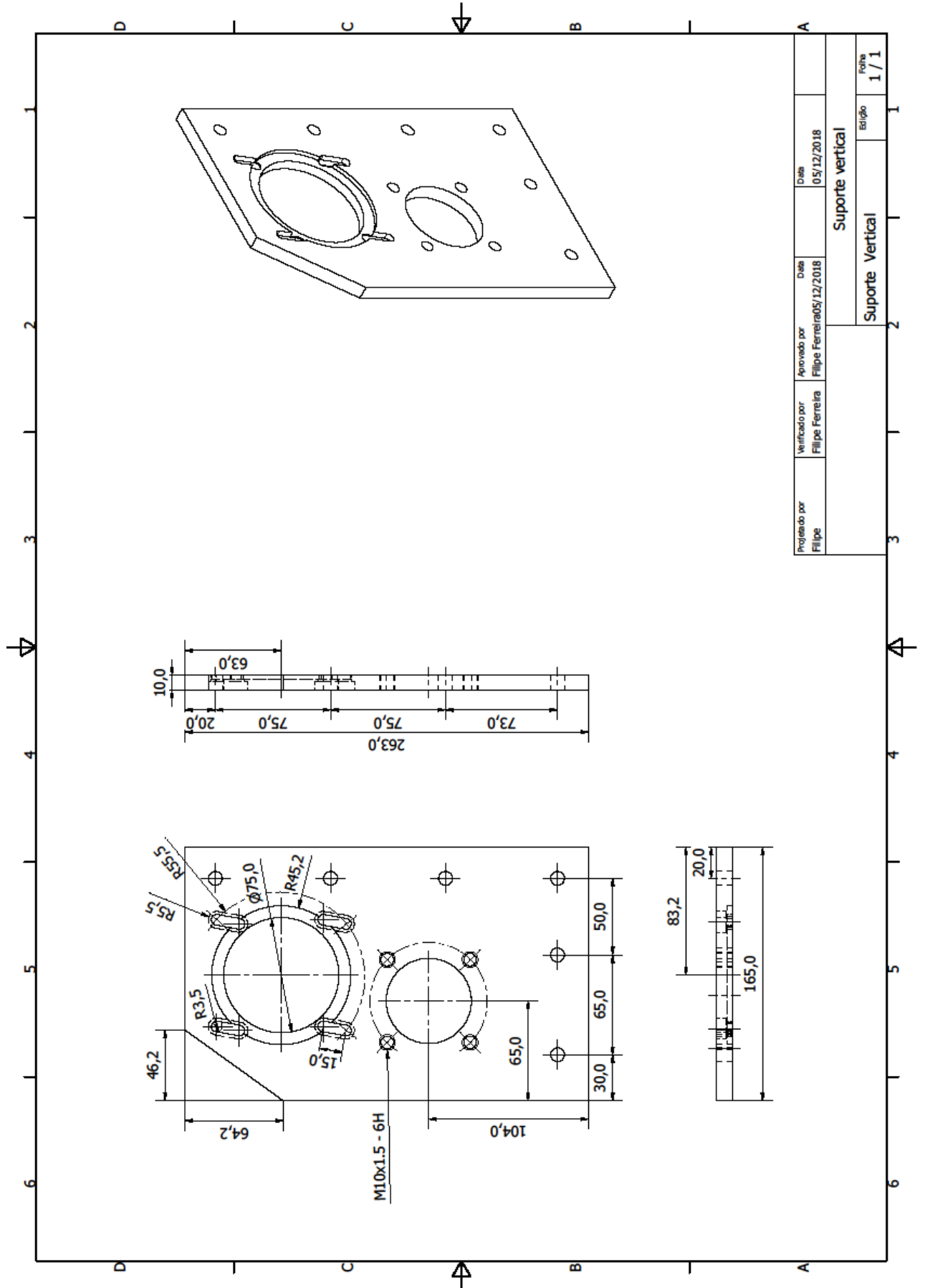
As informações contidas neste software e, particularmente, os dados do especialista são baseados no estado atual de nosso conhecimento sobre os produtos descritos. Uma garantia juridicamente vinculativa de certas propriedades ou da adequação a certo uso não pode ser derivada. A igus® não assume qualquer responsabilidade por perdas resultantes do uso dos produtos.

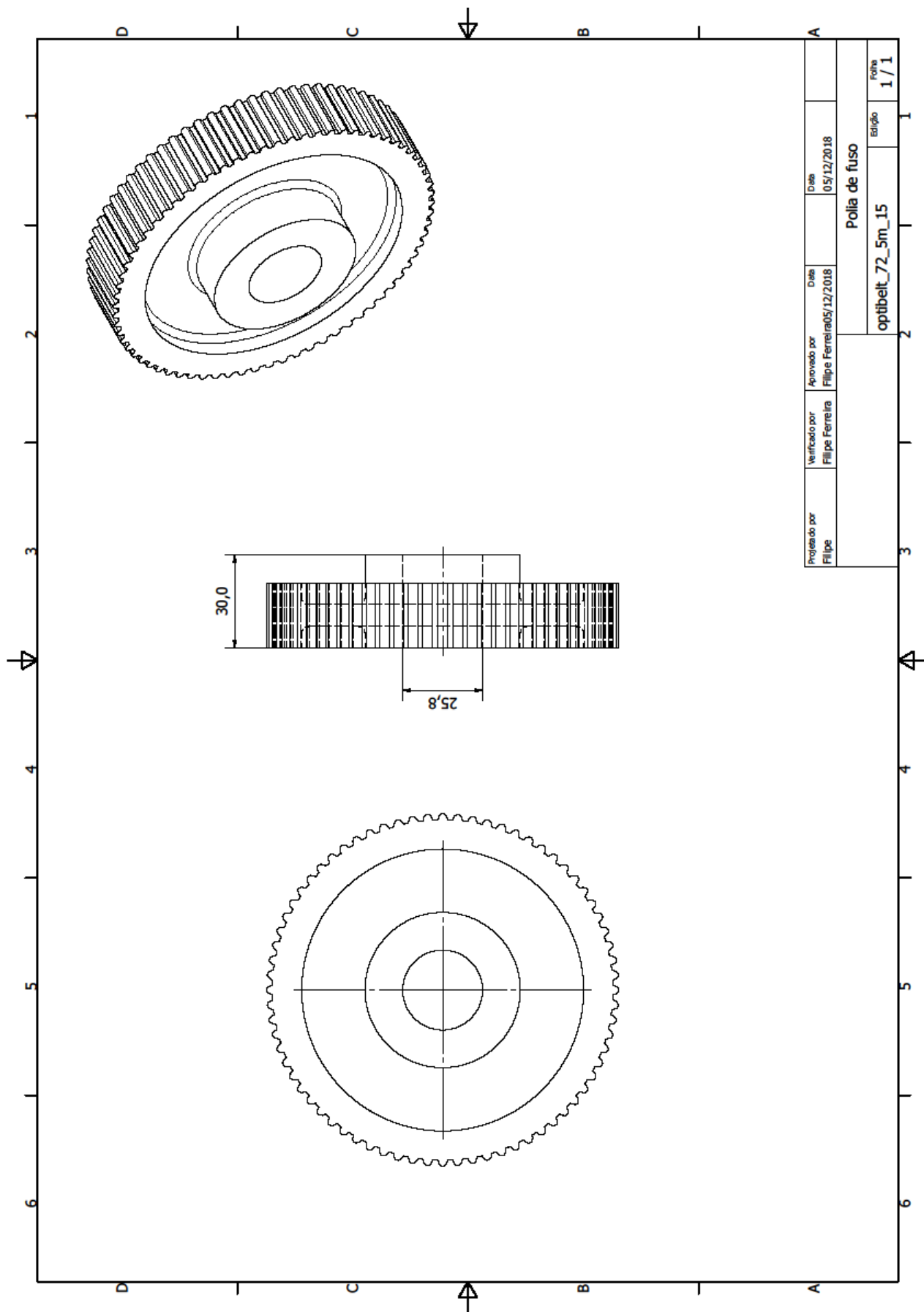
Recomendamos que seja sempre verificada a adequação dos produtos para um determinado fim em um teste de campo. Aproveite nossos serviços de consultoria.

Devido ao contínuos avanços técnicos, nós nos reservamos o direito de fazer a qualquer momento mudanças técnicas e melhorias nos produtos.

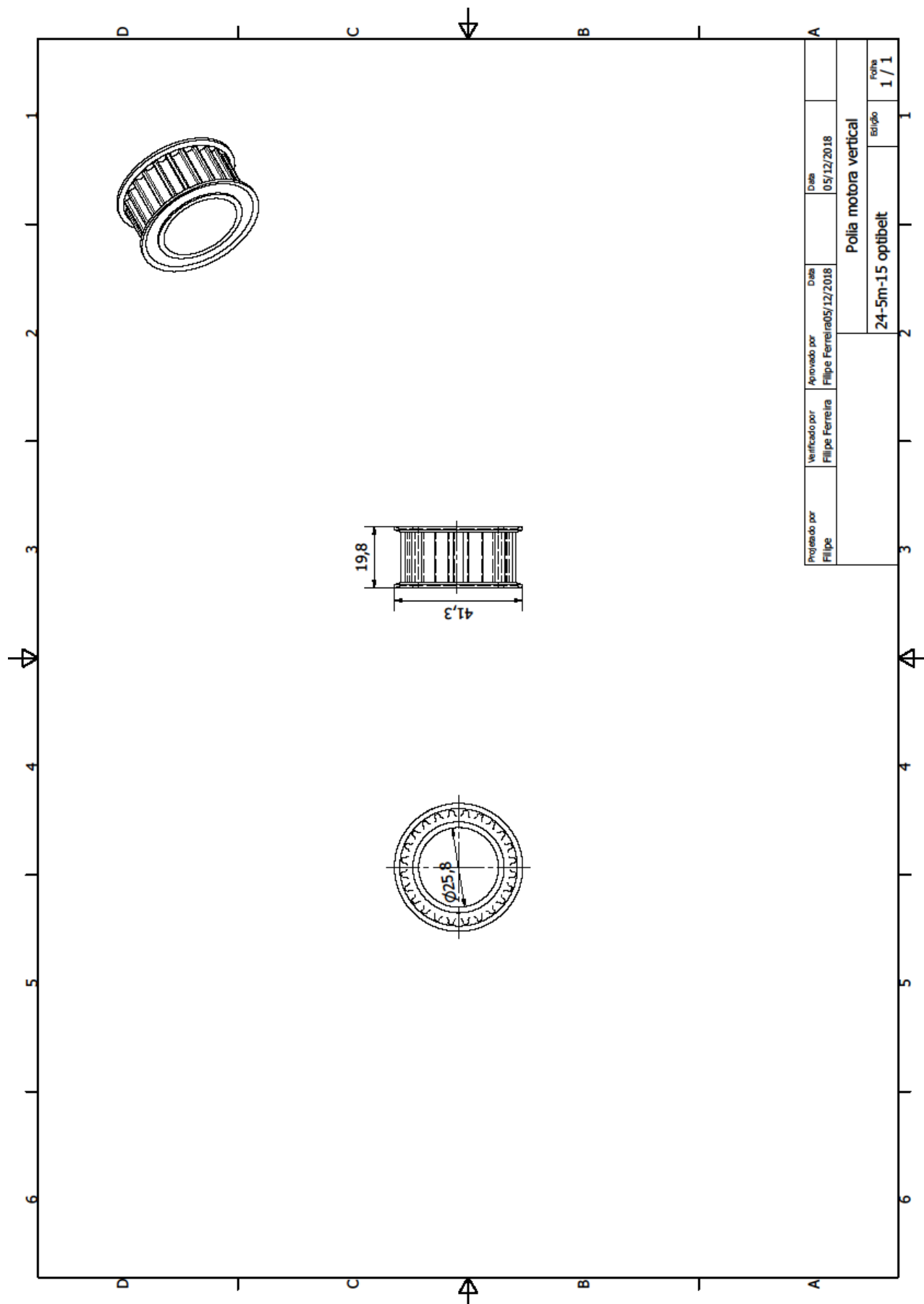
Anexo 19 – Componentes do movimento vertical

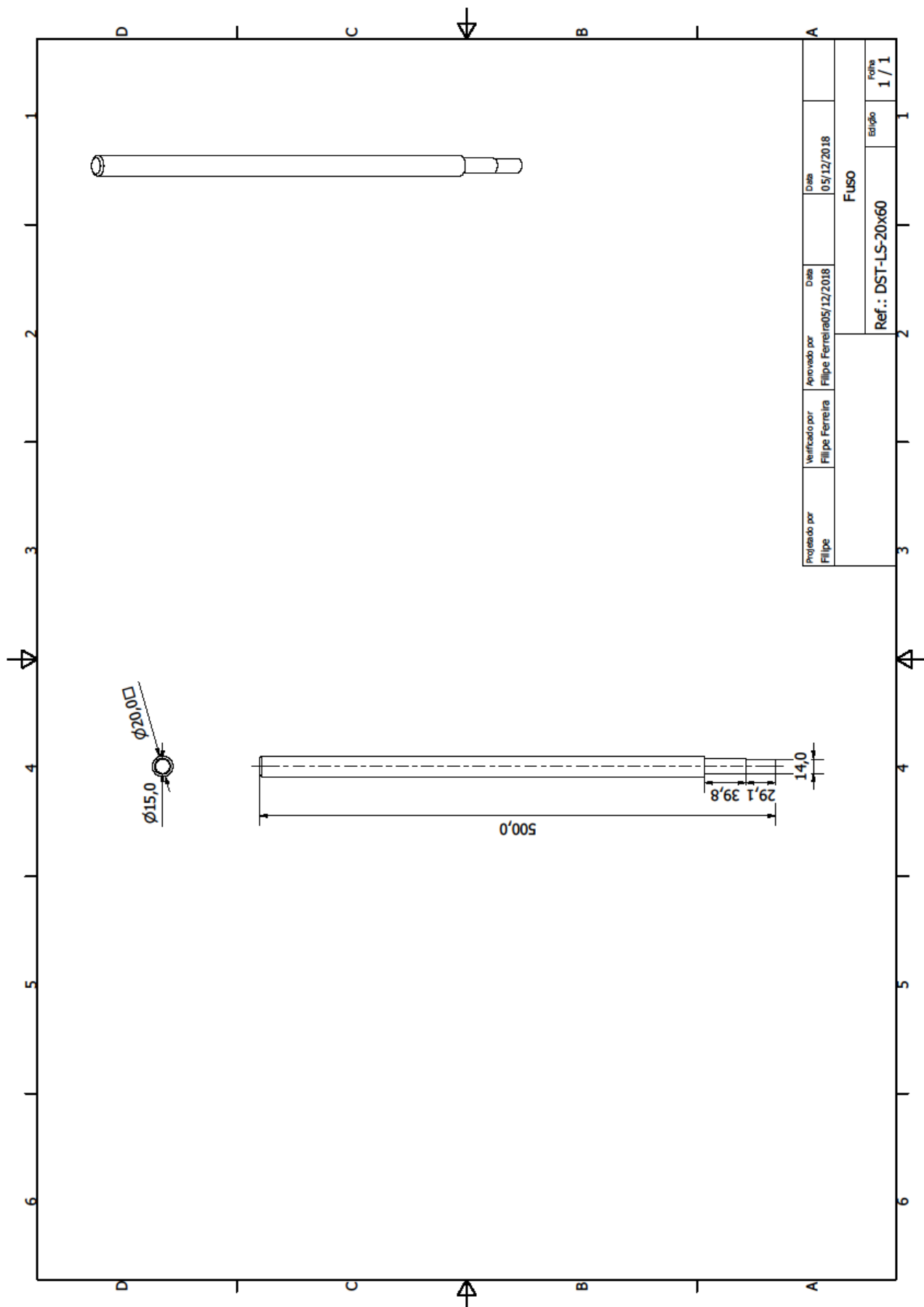


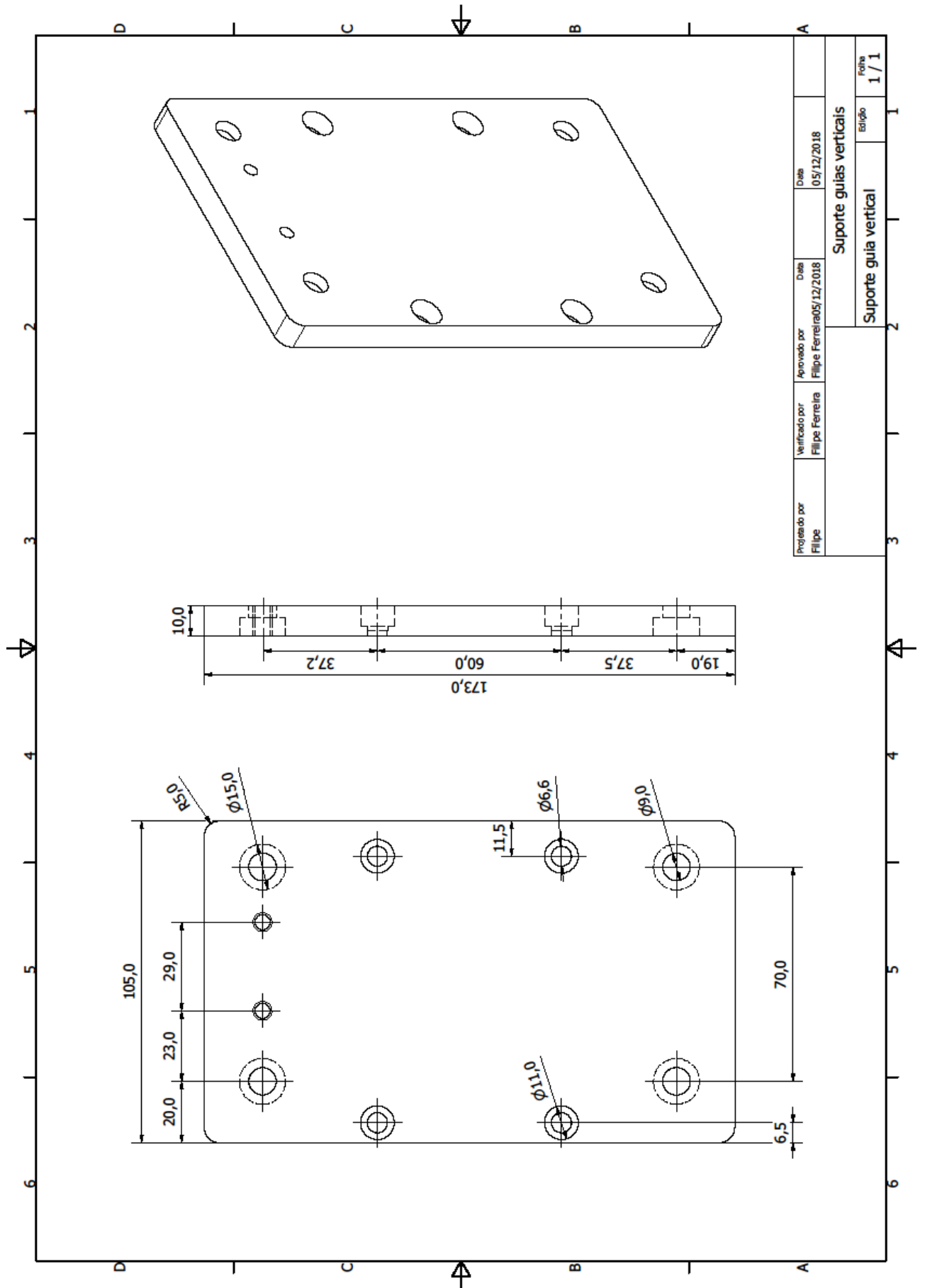


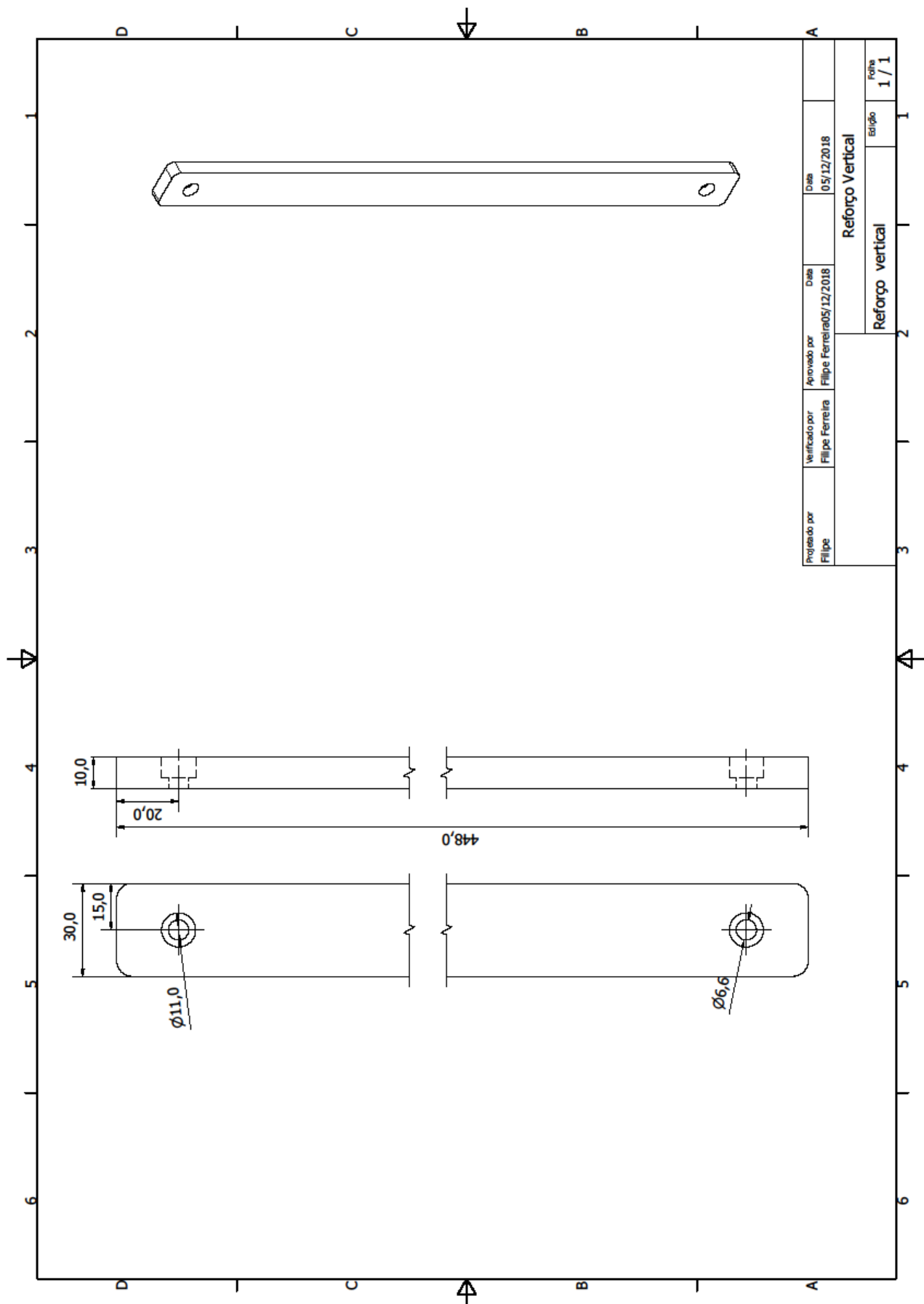


Projeto por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018	Data 05/12/2018	
Polia de fuso				Edição	Folha
optibelt_72_5m_15				1	1 / 1

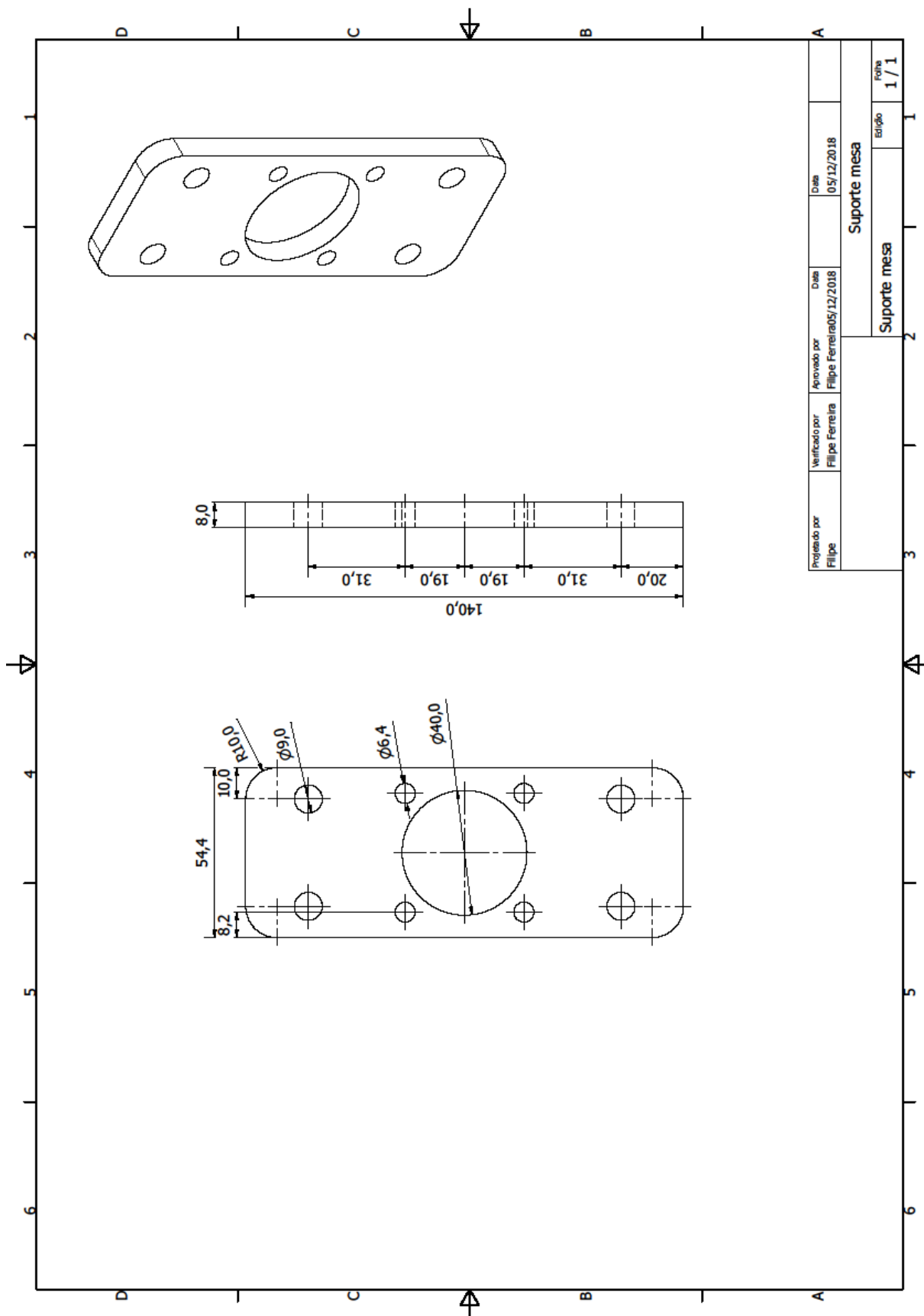


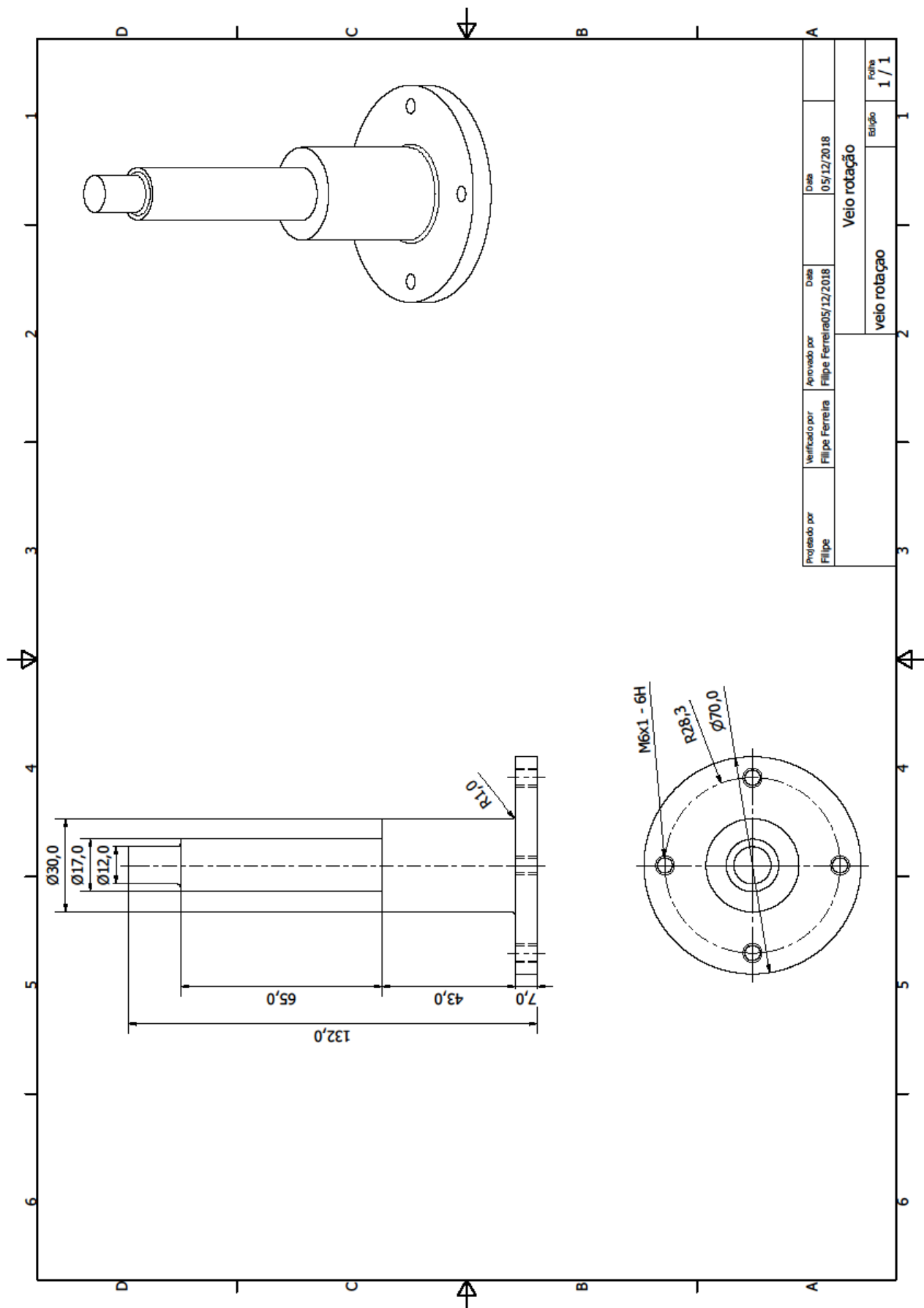


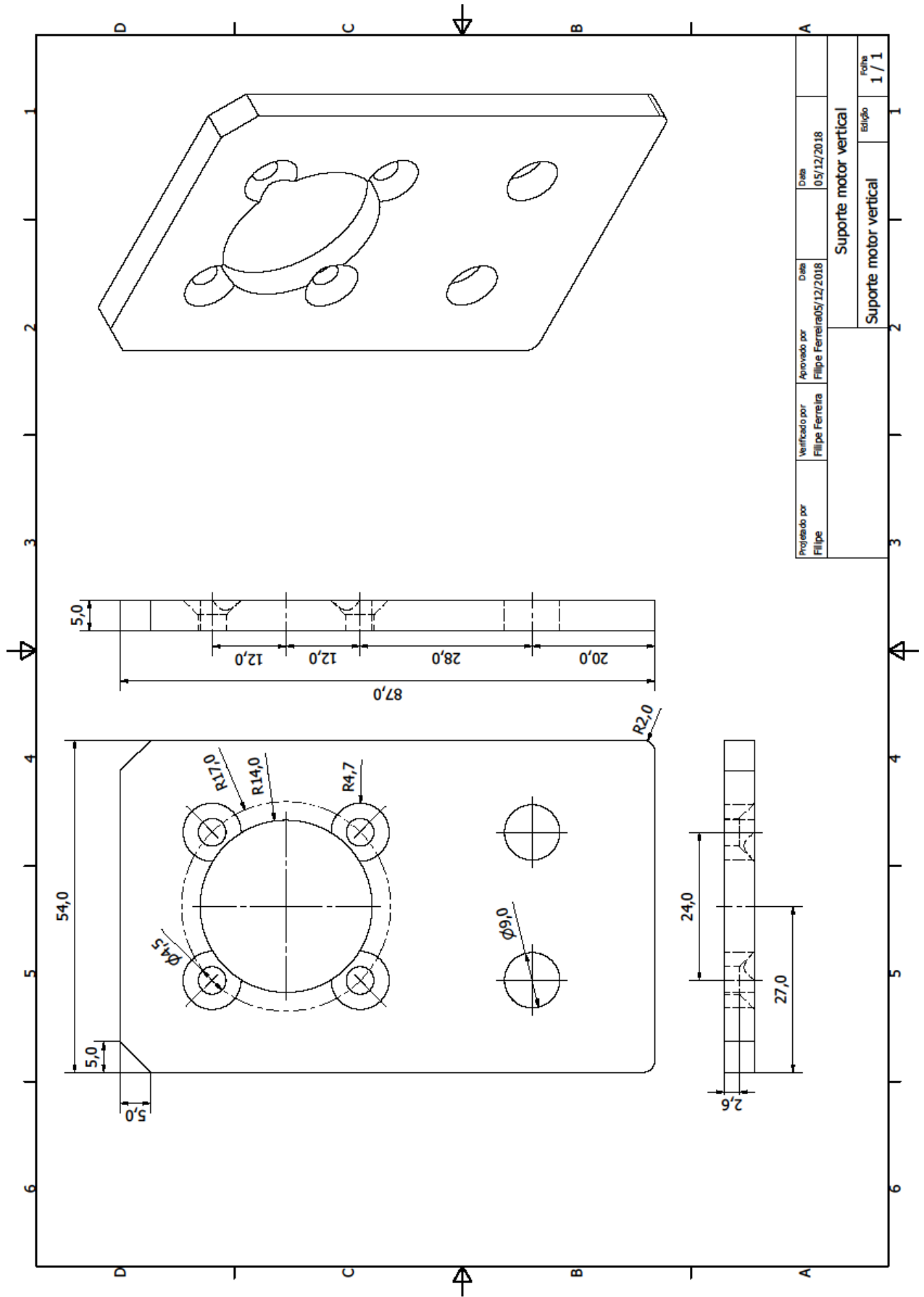




Anexo 20 – Sistema de rotação de mesa

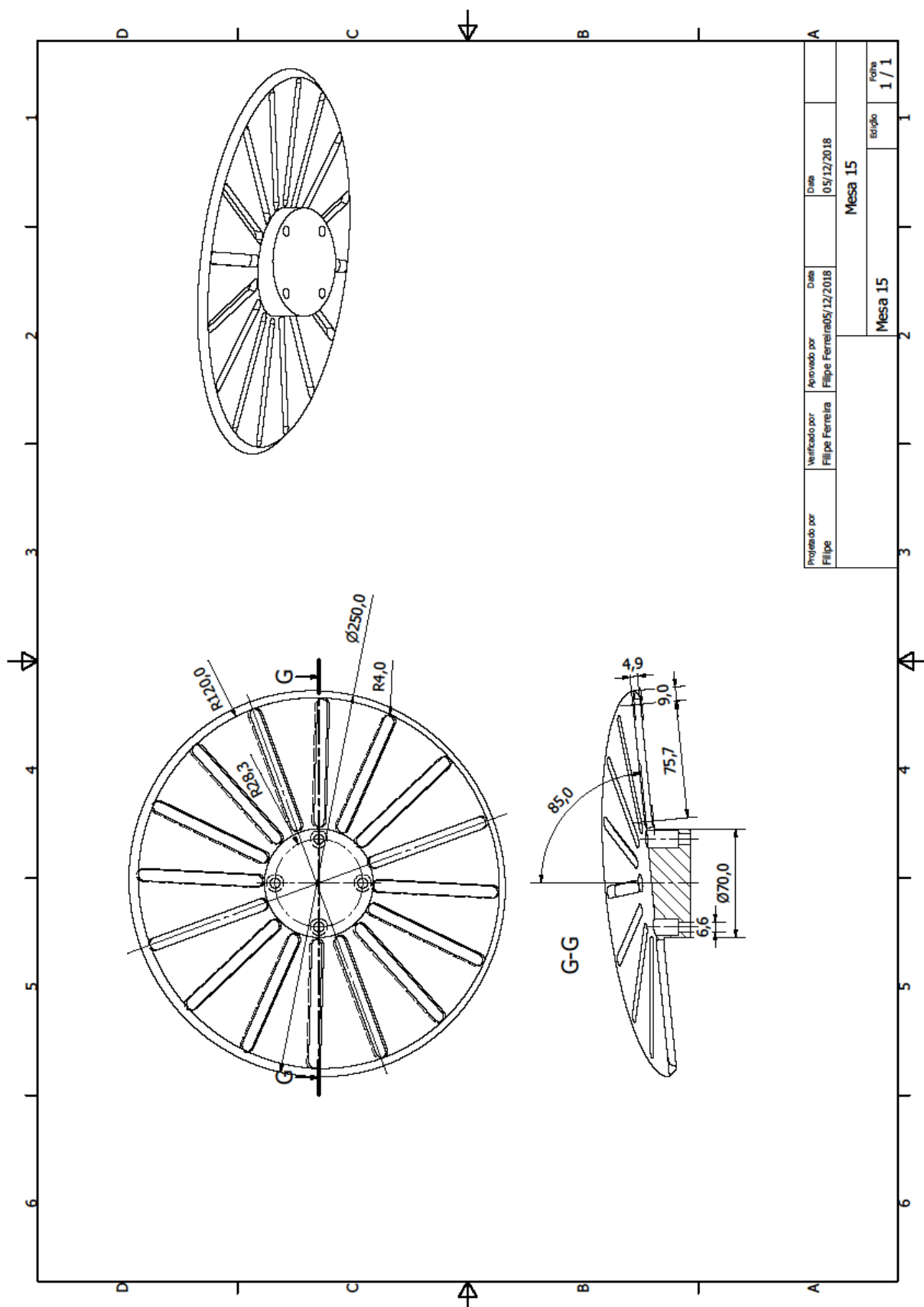






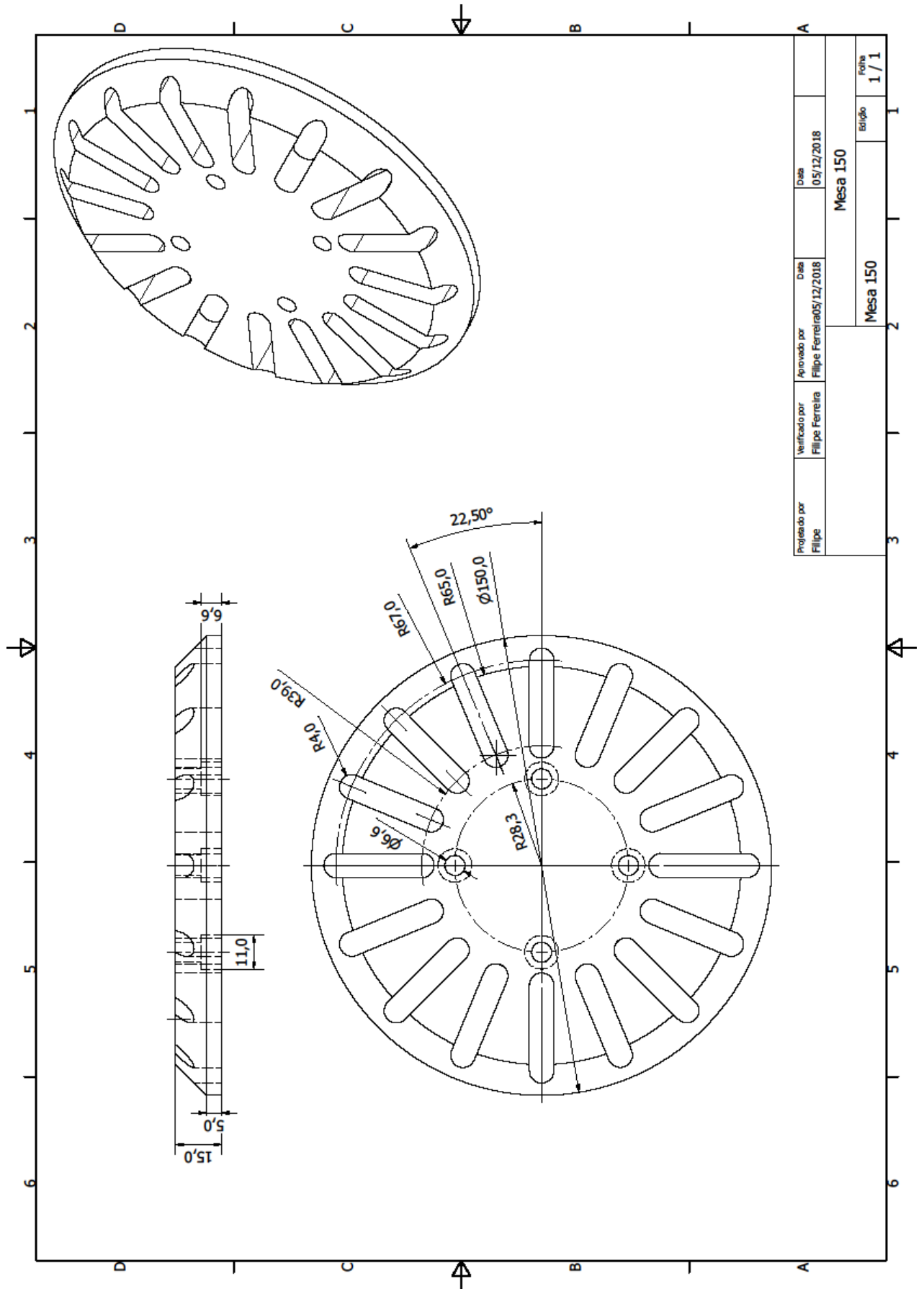
Projetado por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018	Data 05/12/2018
Suporte motor vertical			Estudo	Folha 1 / 1

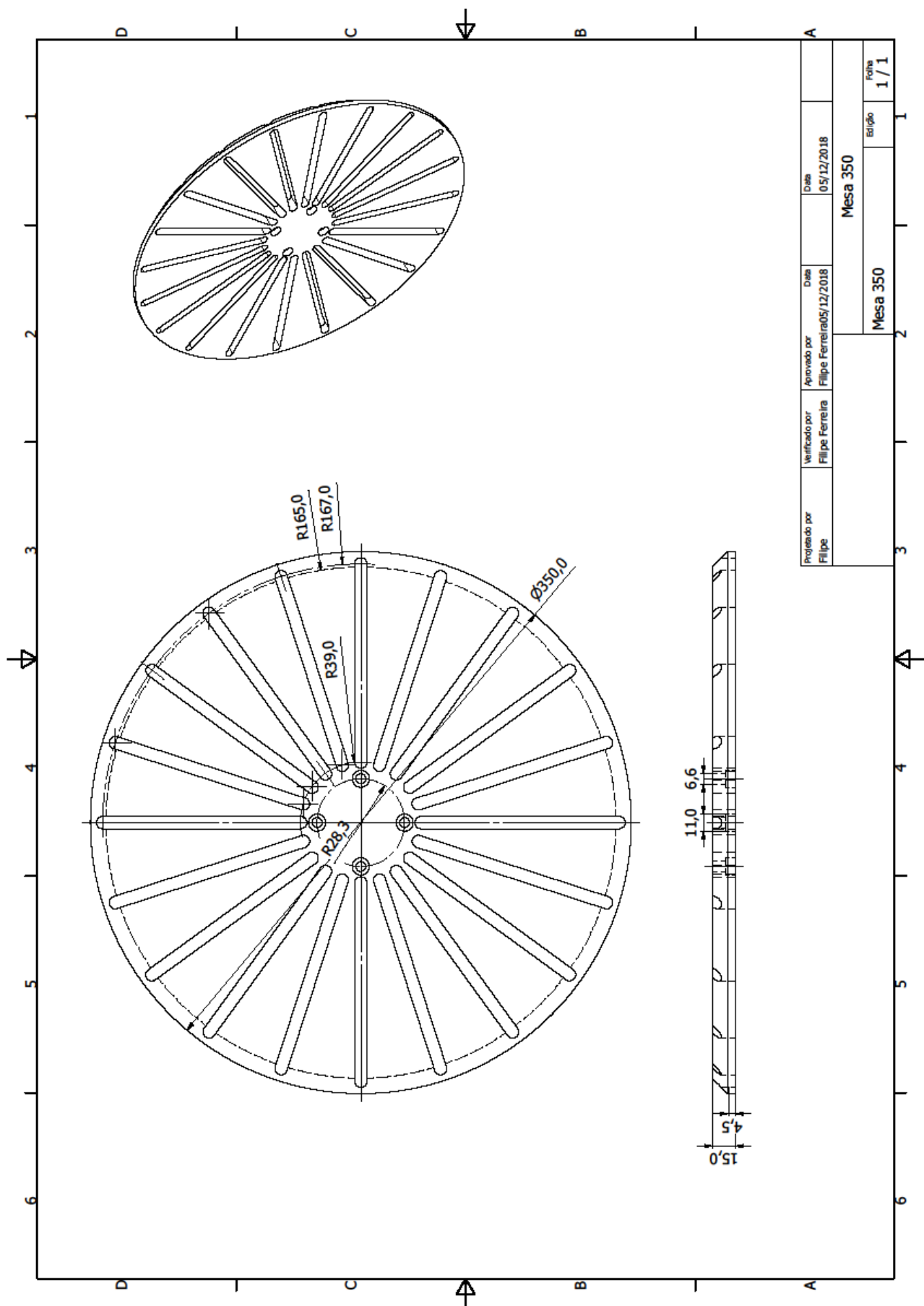
Anexo 21 – Mesas de ensaios



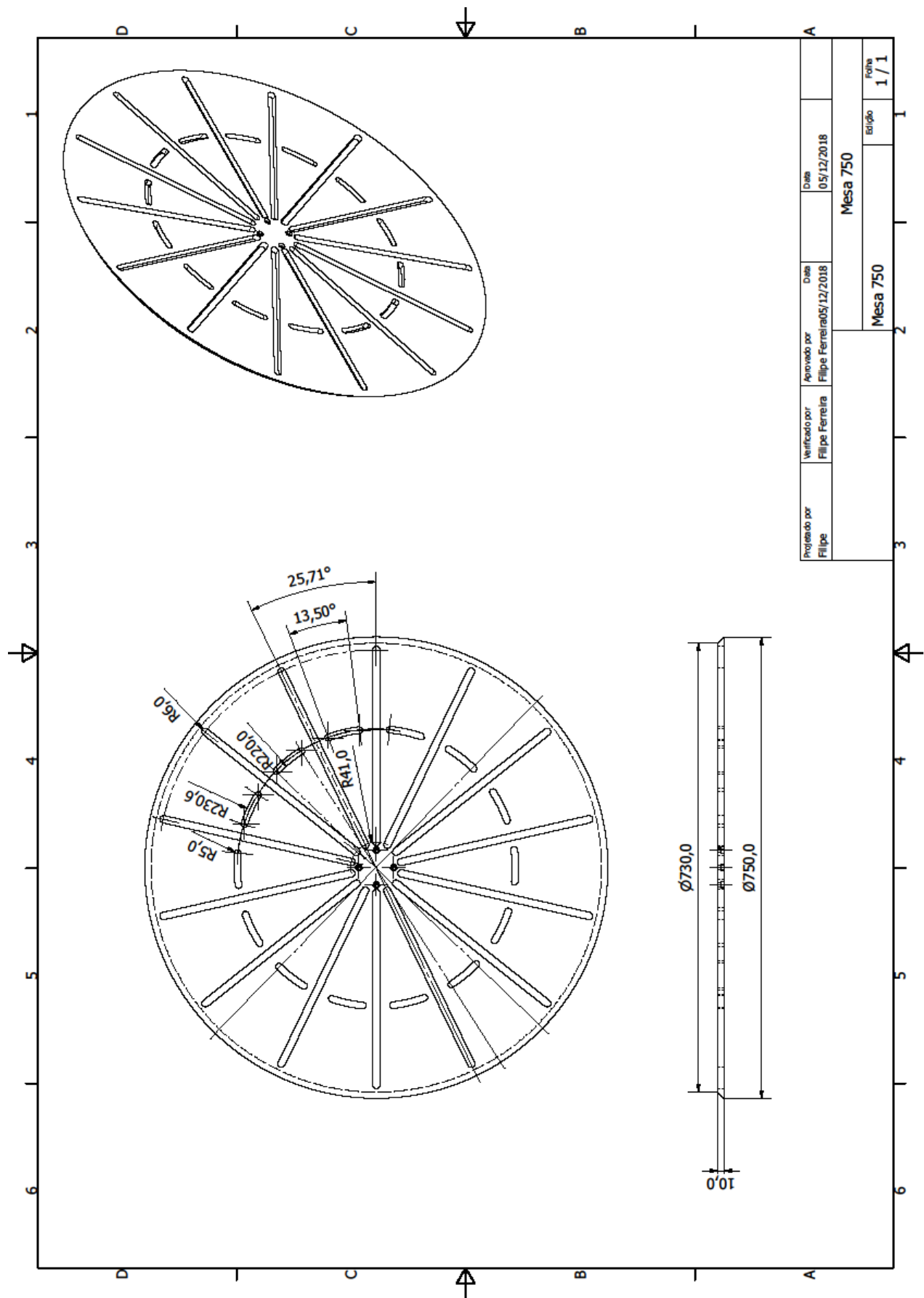
Projetado por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018	Data 05/12/2018
Mesa 15			Mesa 15	
Mesa 15			Estado	Folha
			1 / 1	1 / 1

9. ANEXOS

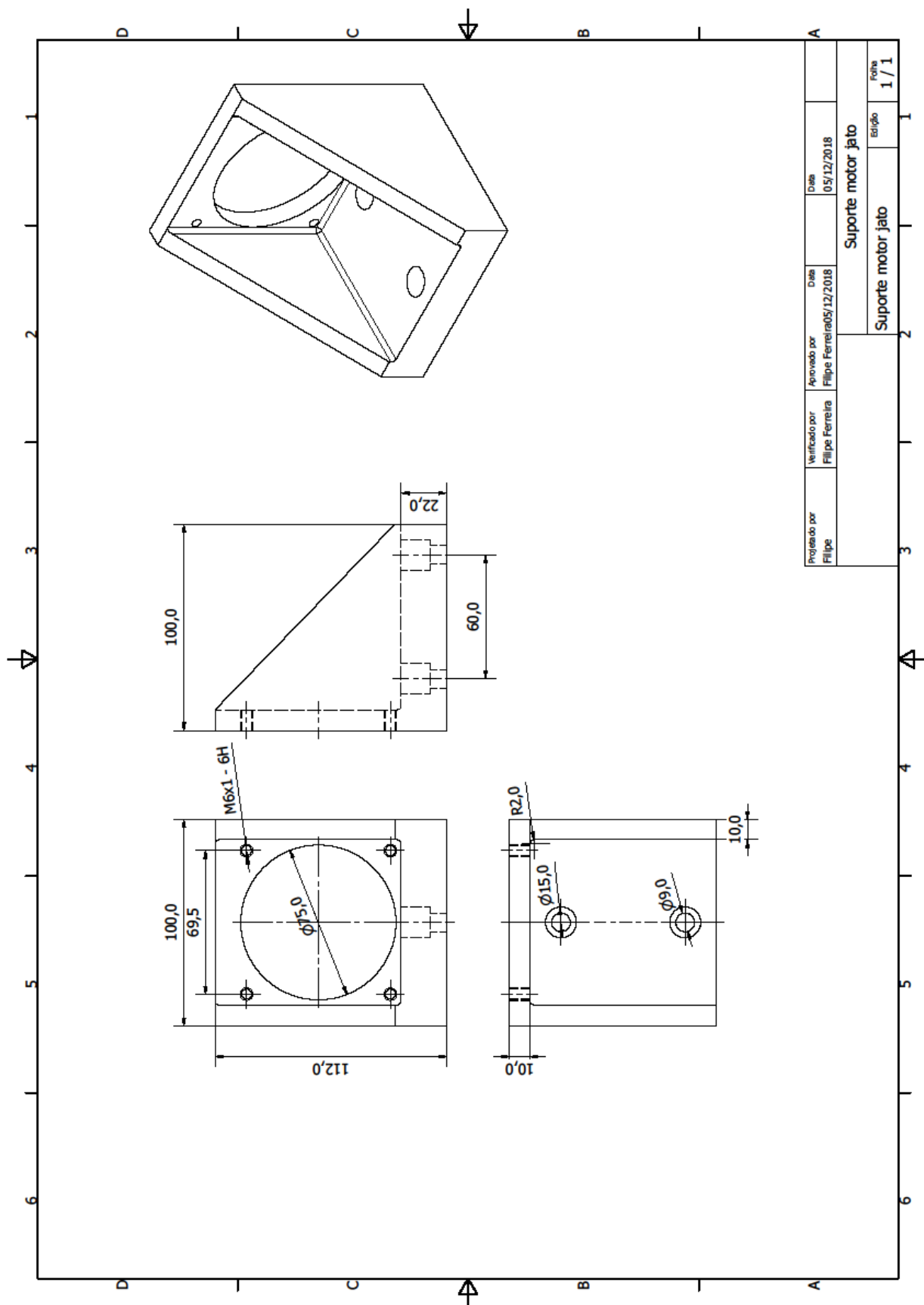




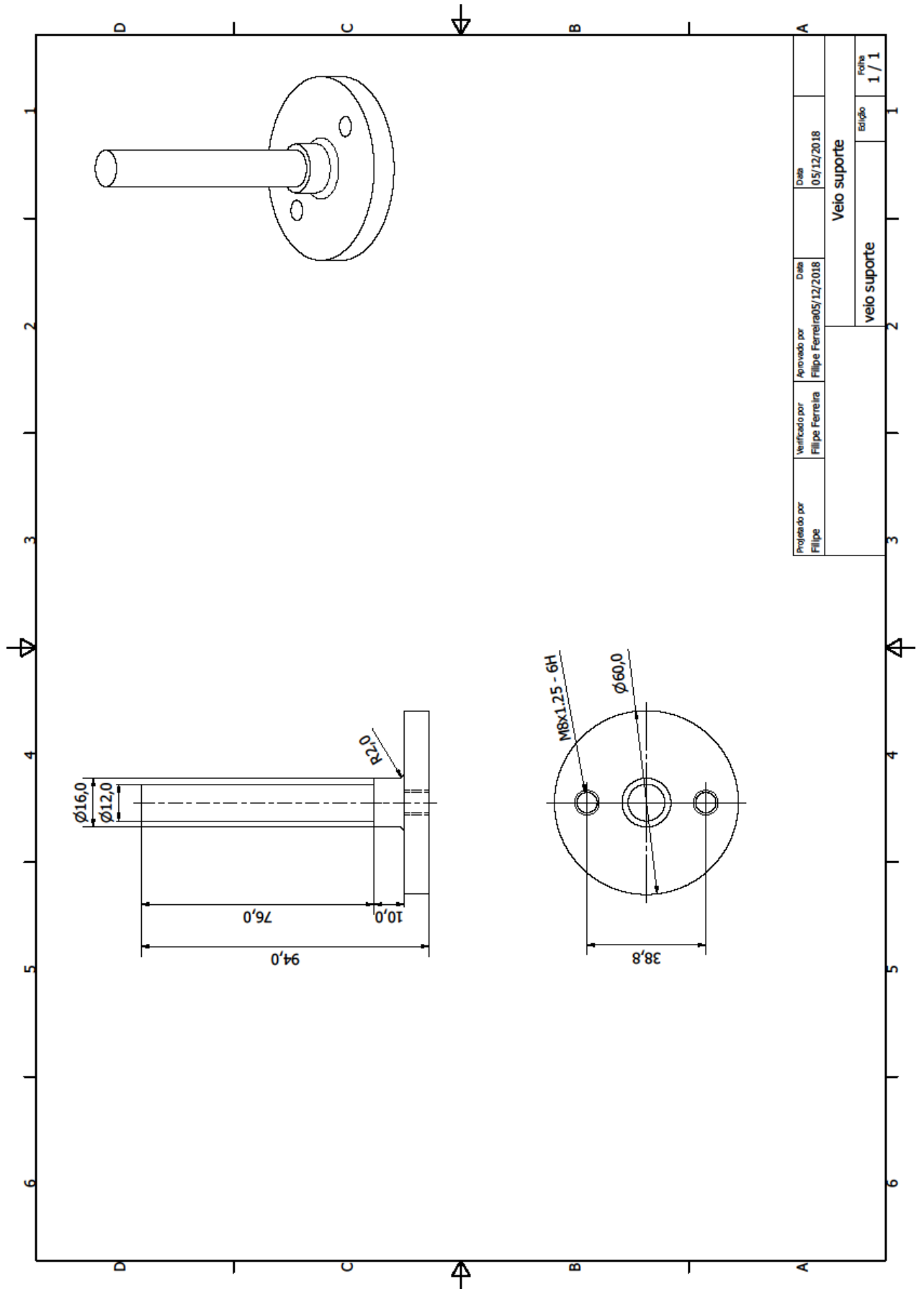
9. ANEXOS

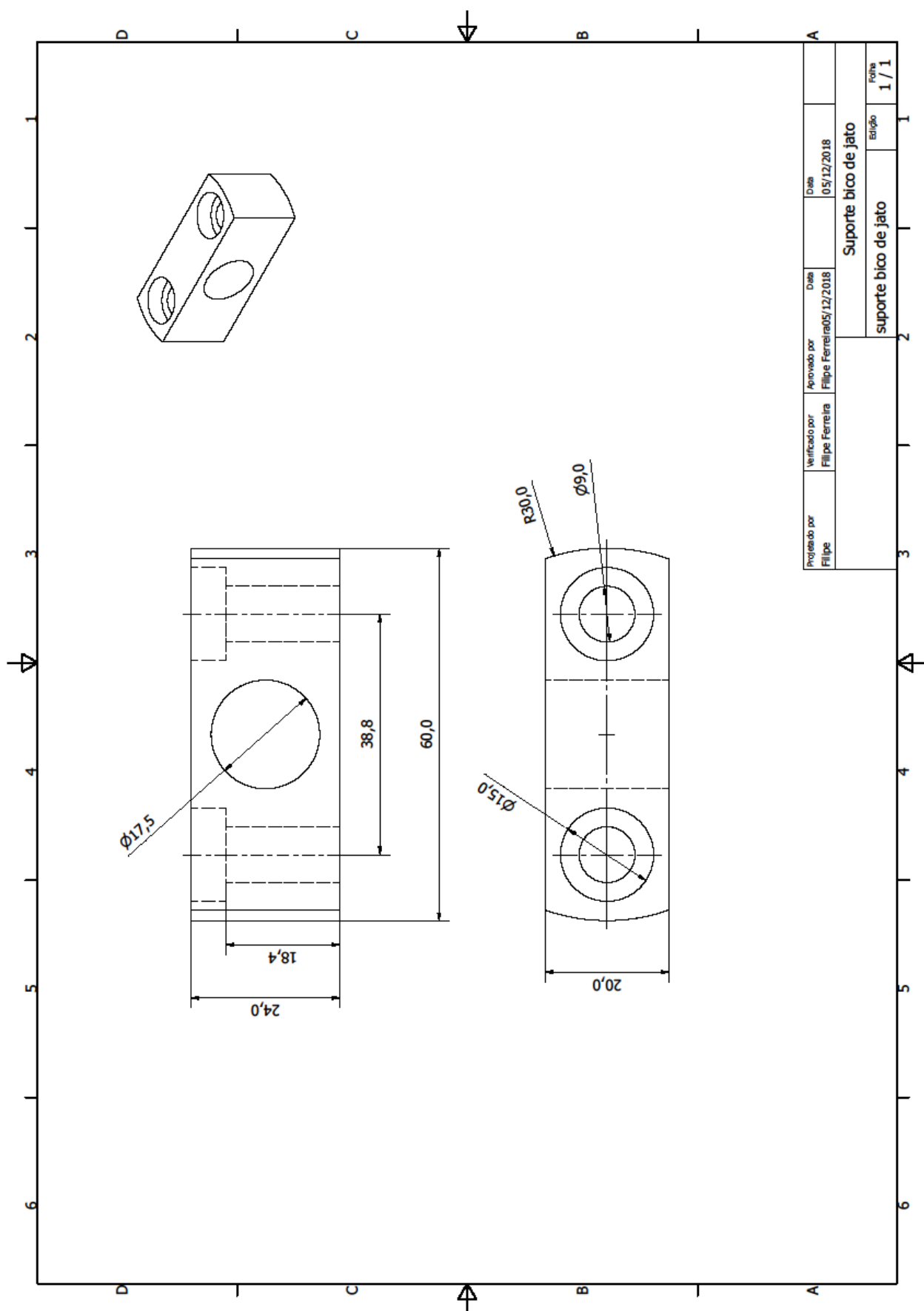


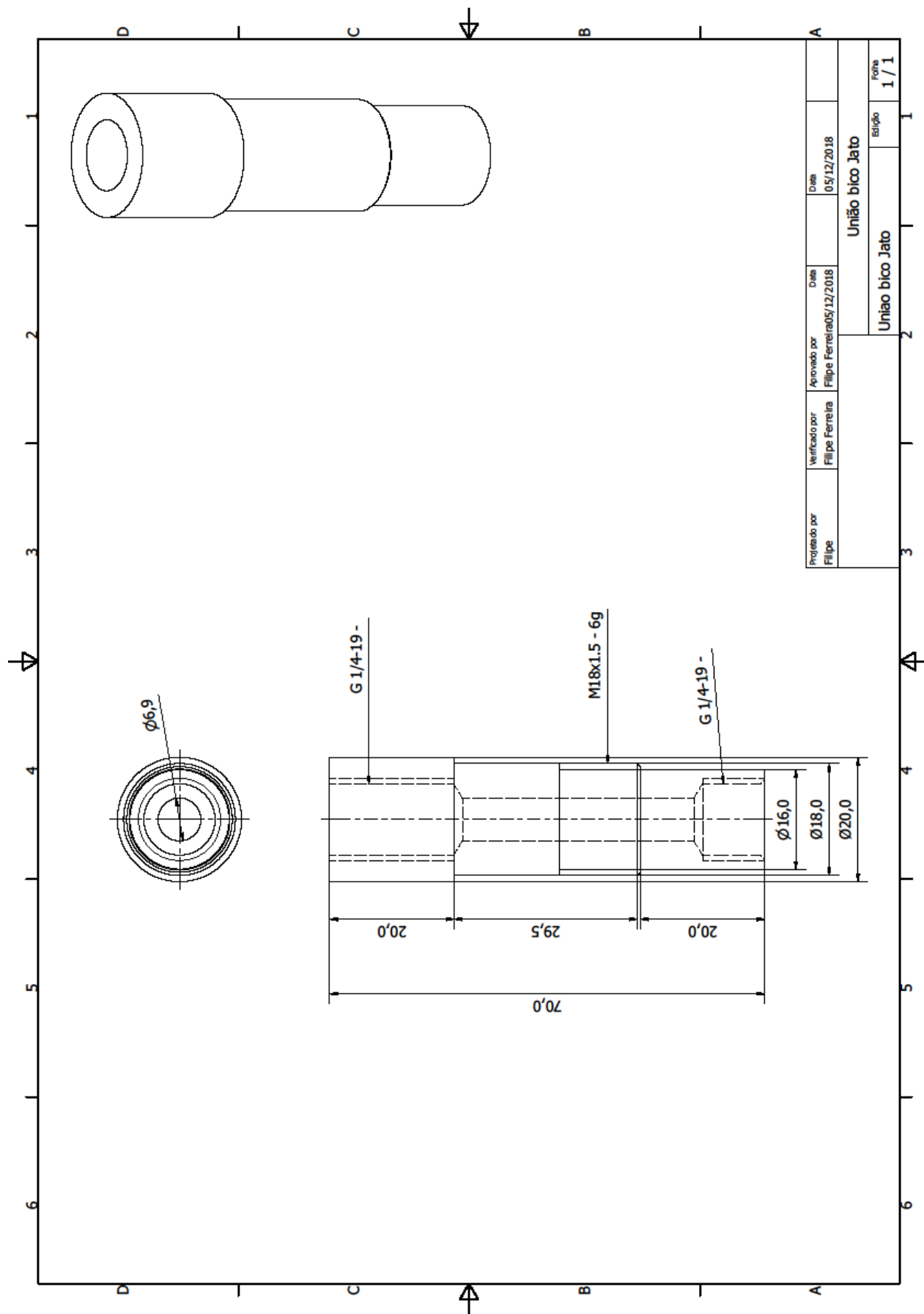
Anexo 22 – Sistema de jato direcional ensaio IPx9k



9. ANEXOS

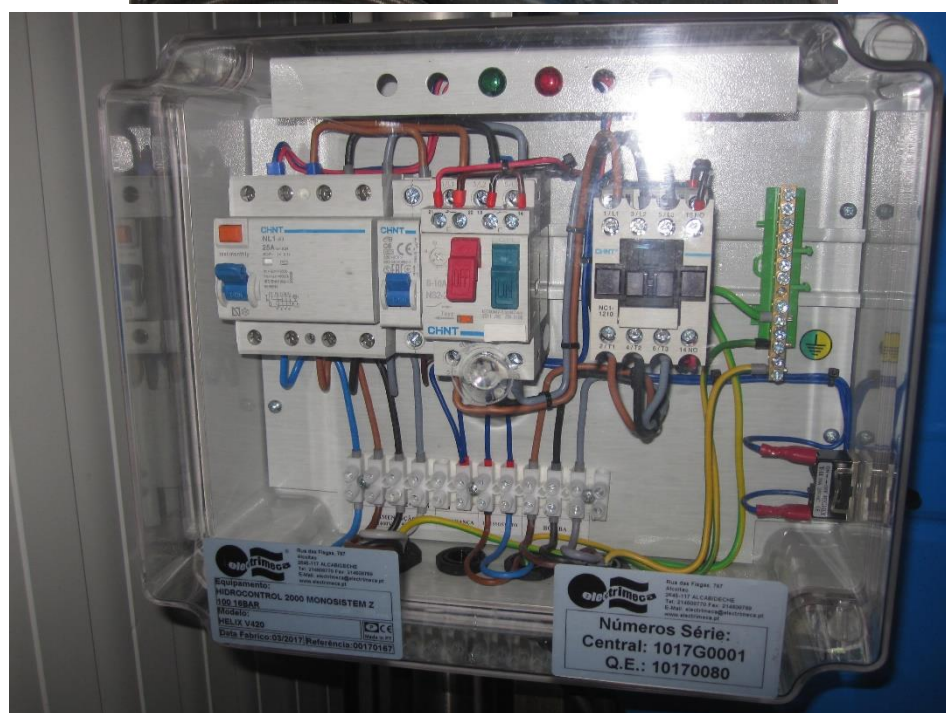






Projeto por Filipe	Verificado por Filipe Ferreira	Aprovado por Filipe Ferreira	Data 05/12/2018	Data 05/12/2018
União bico Jato				
União bico Jato			Estado	Folha
			2	1 / 1

Anexo 23 – Sistema Hidrocontrol 2000



Anexo 24 – Redutores de pressão Parker

HIGH PRECISION REGULATOR - P3RA102 (STANDARD)

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

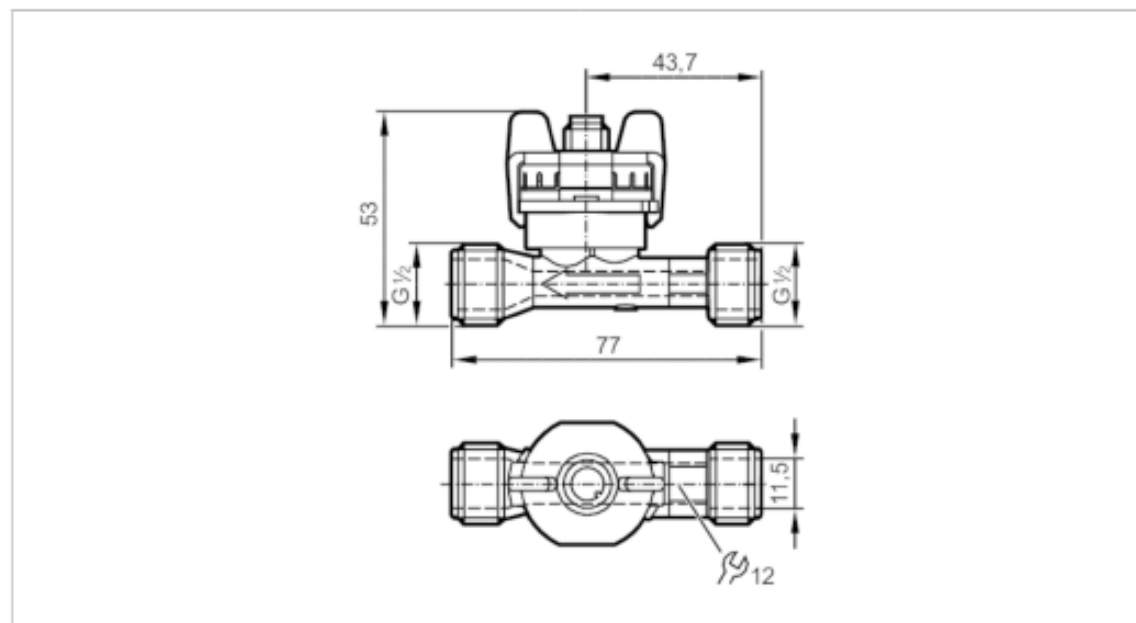
PRODUCT TYPE	High Precision Regulator
PORT SIZE	1/4" 3/8" 1/2"
PORT TYPE	NPT BSPP
RATIO	N/A
FLOW RATE (SCFM)	40 @ 100 psig supply
FLOW RATE (DM3/S)	243.9 @ 7 bar
OPERATING TEMPERATURE (F)	-40° to +200°
OPERATING TEMPERATURE (C)	-40° to +93°
MAXIMUM INLET PRESSURE (PSIG)	500
MAXIMUM INLET PRESSURE (BAR)	35
PRESSURE CONTROL SENSITIVITY (PSIG)	0.005
PRESSURE CONTROL SENSITIVITY (BAR)	0.0003
PRESSURE CONTROL SENSITIVITY (INH20)	0.250"
PRESSURE CONTROL SENSITIVITY (CMH20)	0.32
PRESSURE CONTROL RANGE (PSIG)	0.5 to 30 1 to 60 2 to 150
PRESSURE CONTROL RANGE (BAR)	0.03 to 2 0.07 to 4 0.14 to 10
BODY MATERIAL	Aluminum

Anexo 25 – Caudalímetros

SV3150

Sensor de fluxo Vortex

SVM12XXD9KGRUS-100



Campo de aplicação	
Aplicação	para aplicações industriais
Montagem	conexão à tubulação através de adaptador
Substâncias	água; soluções de glicol; Refrigerantes lubrificantes
Temperatura do fluido [°C]	-40...100
Min. Berstdruck [bar]	25
Resistência à pressão [bar]	12
Aviso da resistência à pressão	até 40 °C
Dados elétricos	
Tensão de operação [V]	8...33 DC
Resistência de isolamento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Classe de proteção	III
Retardo de prontidão [s]	< 2
Entradas/saídas	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas analógicas: 1

SV3150

Sensor de fluxo Vortex

SVM12XOXD00KG/US-100



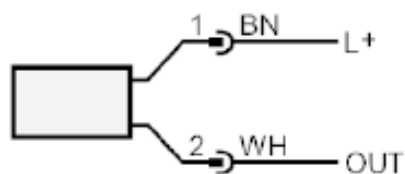
Saídas		
Saídas totais	1	
Sinal de saída	sinal analógico	
Quantidade de saídas analógicas	1	
Corrente da saída analógica [mA]	4...20; (Q [l/min] = 0,625 x (I - 4 mA))	
Carga máx. [Ω]	< (Ub - 8 V) / 20 mA; Ub = 24 V; 800	
Faixa de medição / de ajuste		
Alcance de medição	0,5...10 l/min	0,074...1,474 m/s
precisão / desvios		
Controle de fluxo		
Precisão (na área de medição)	Q < 50 % MEW: < 1 % MEW / Q > 50 % MEW: < 2 % MW; (água)	
Repetibilidade	0,2; (% do valor final)	
Tempos de reação		
Controle de fluxo		
Tempo de resposta [s]	0,5	
condições ambientais		
Temperatura ambiente [°C]	-15...85	
Aviso sobre a temperatura do ambiente	temperatura da substância > 0 °C; -30...85	
Temperatura de armazenamento [°C]	-30...85	
proteção	IP 65	
Cavitação	P(absoluto) saída / P(diferença) > 5,5 para evitar cavitação	
Certificações / testes		
CEM	EN 61326-2-3	
Resistência a choques	DIN EN 60068-2-27	30 g (11 ms)
resistência a vibrações	DIN EN 60068-2-6	com água / 10...61 Hz 1 mm com água / 61...2000 Hz 2 g
MTTF [anos]	380	
Diretiva de equipamentos sob pressão	Boas práticas de engenharia; pode ser utilizada para fluidos do grupo 2; substâncias do grupo de fluidos 1 sob encomenda	
Dados mecânicos		
Peso [g]	66	
materiais	PA 6T	
Materiais em contato com o fluido	ETFE; PA 6T; EPDM	
Máx. torque de aperto [Nm]	12	
Conexão de processo	conexão da rosca G 1/2 DN6	
Notas		
Notas	MW = valor de medição MEW = Valor final da faixa de medição	
Quantidade	1 peça	

SV3150**Sensor de fluxo Vortex**

SVM12XXXD0KG/US-100

**conexão elétrica**

Conexão: 1 x M12; Contatos: dourado

**Conexão**

OUT: saída analógica
 Codificação de cores conforme DIN EN 60947-5-2
 Cores dos condutores :

BN = castanho

WH = branco

SV3150

Sensor de fluxo Vortex

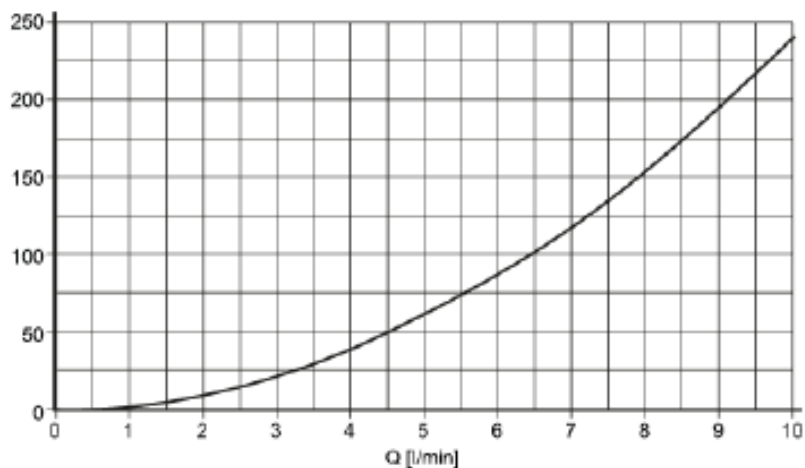
SVM12XXDXD0KG/US-100



diagrama e curvas

Perda de pressão

dP [mbar] DN6

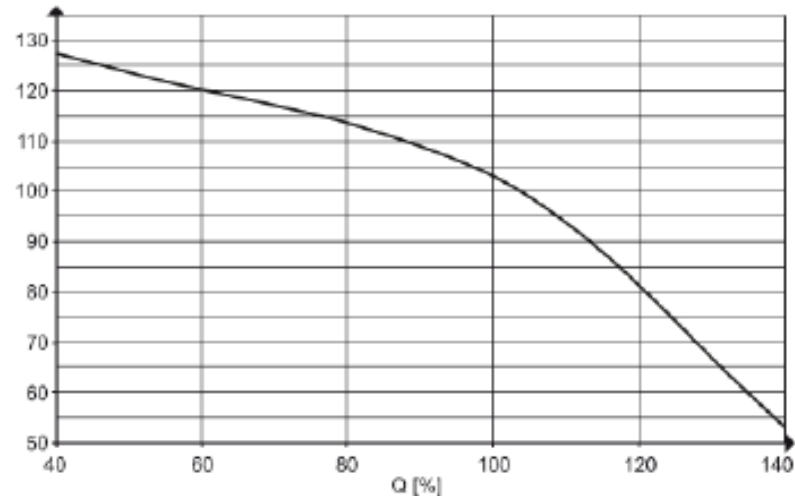


dP Perda de pressão

Q vazão volumétrica

10 anos de vida útil no mínimo dependendo da vazão e da alta temperatura do fluido

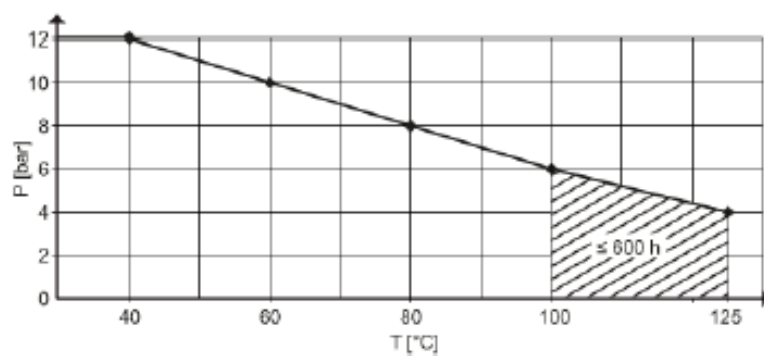
°C



SV3150**Sensor de fluxo Vortex**

SVM12XXKD0KGJUS-100

resistência à pressão (bar)

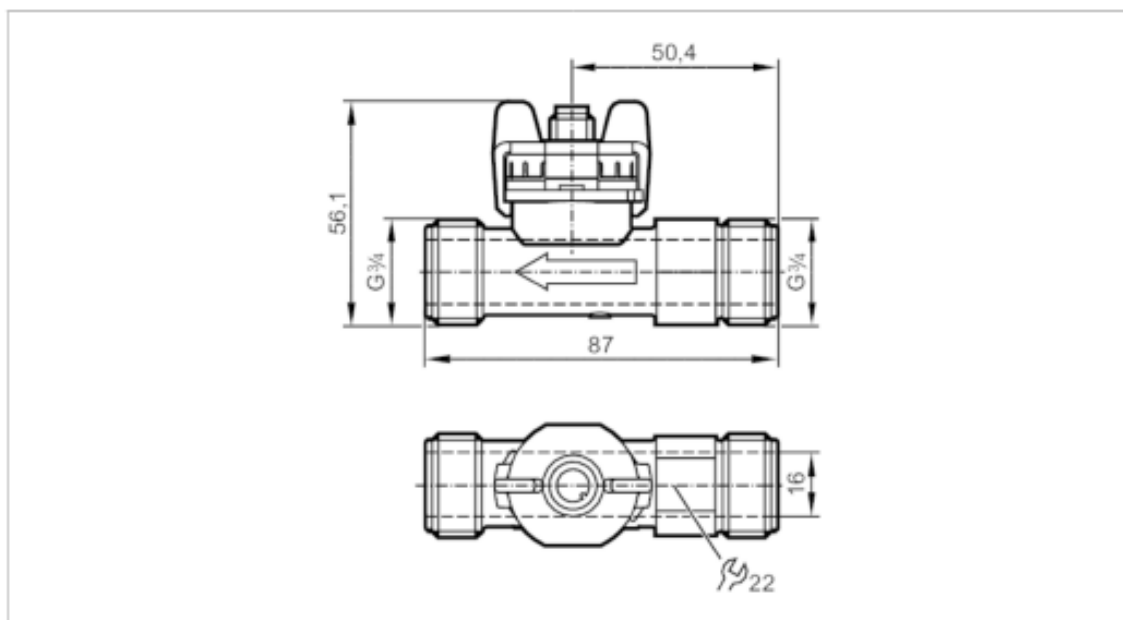


9. ANEXOS

SV6150

Sensor de fluxo Vortex

SVM34XXXD0KGAUS-100



CE

Campo de aplicação	
Elemento de medição	1 x Pt 1000; (para DIN EN 60751, classe B)
Aplicação	para aplicações industriais
Montagem	conexão à tubulação através de adaptador
Substâncias	água; soluções de glicol; Refrigerantes lubrificantes
Temperatura do fluido [°C]	-40...100
Min. Berstdruck [bar]	25
Resistência à pressão [bar]	12
Aviso da resistência à pressão	até 40 °C
Dados elétricos	
Tensão de operação [V]	8...33 DC
Resistência de isolamento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Classe de proteção	III
Retardo de prontidão [s]	< 2
Entradas/saídas	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas analógicas: 1

SV6150

Sensor de fluxo Vortex

SVM3400XD0K0/US-100



Saídas		
Saídas totais	1	
Sinal de saída	sinal analógico	
Quantidade de saídas analógicas	1	
Corrente da saída analógica [mA]	4...20; (água: $Q [l/min] = 3,125 \times (I - 4 \text{ mA})$; glicol-água: $Q [l/min] = 3,125 \times (I - 4 \text{ mA}) - Q_0$ ver figura 2)	
Carga máx. [Ω]	$< (U_b - 8 \text{ V}) / 20 \text{ mA}$; $U_b = 24 \text{ V}$; 800	
Faixa de medição / de ajuste		
Alcance de medição	3,5...50 l/min	0,29...4,145 m/s
controle de temperatura		
Sonda de temperatura de autoaquecimento	1 K/mW	
Alcance de medição [°C]	-40...100	
precisão / desvios		
Controle de fluxo		
Precisão (na área de medição)	$Q < 50 \% \text{ MEW}$: $< 1 \% \text{ MEW}$ / $Q > 50 \% \text{ MEW}$: $< 2 \% \text{ MW}$; (água)	
Repetibilidade	0,2; (% do valor final)	
controle de temperatura		
Precisão [K]	$\pm 0,3 \pm 0,005 \times T$	
Tempos de reação		
Controle de fluxo		
Tempo de resposta [s]	0,5	
condições ambientais		
Temperatura ambiente [°C]	-15...85	
Aviso sobre a temperatura do ambiente	temperatura da substância $> 0 \text{ °C}$: -30...85	
Temperatura de armazenamento [°C]	-30...85	
proteção	IP 65	
Cavitação	$P(\text{absoluto}) \text{ saída} / P(\text{diferença}) > 5,5$ para evitar cavitação	
Certificações / testes		
CEM	EN 61326-2-3	
Resistência a choques	DIN EN 60068-2-27	30 g (11 ms)
resistência a vibrações	DIN EN 60068-2-6	com água / 10...61 Hz 1 mm
		com água / 61...2000 Hz 2 g
MTTF [anos]	380	
Diretiva de equipamentos sob pressão	Boas práticas de engenharia; pode ser utilizada para fluidos do grupo 2; substâncias do grupo de fluidos 1 sob encomenda	

SV6150**Sensor de fluxo Vortex**

SVM34XXXD0KGJUS-100



Dados mecânicos	
Peso [g]	131,5
materiais	PA 6T
Materiais em contato com o fluido	ETFE; PA 6T; EPDM
Máx. torque de aperto [Nm]	12
Conexão de processo	conexão da rosca G 3/4 DN15
Notas	
Notas	MW = valor de medição MEW = Valor final da faixa de medição
Quantidade	1 peça
conexão elétrica	
Conexão: 1 x M12; Contatos: dourado	
Conexão	
OUT:	saída analógica
T1 / T2:	Pt1000 Codificação de cores conforme DIN EN 60947-5-2 Cores dos condutores :
BK =	preto
BN =	castanho
BU =	azul
WH =	branco

SV6150

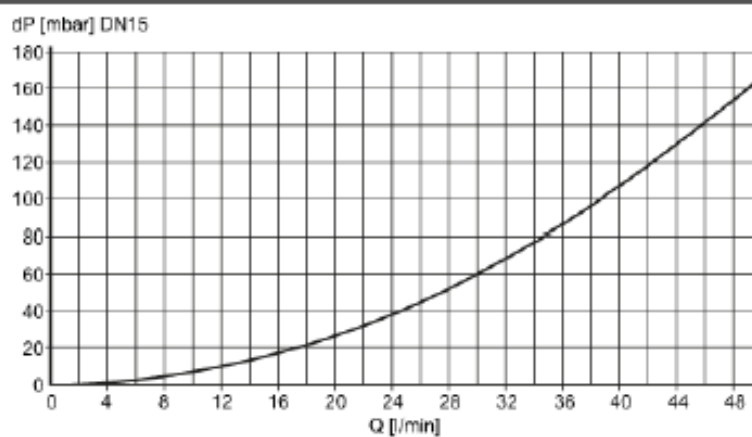
Sensor de fluxo Vortex

SVM34XXD0K0JUS-100



diagrama e curvas

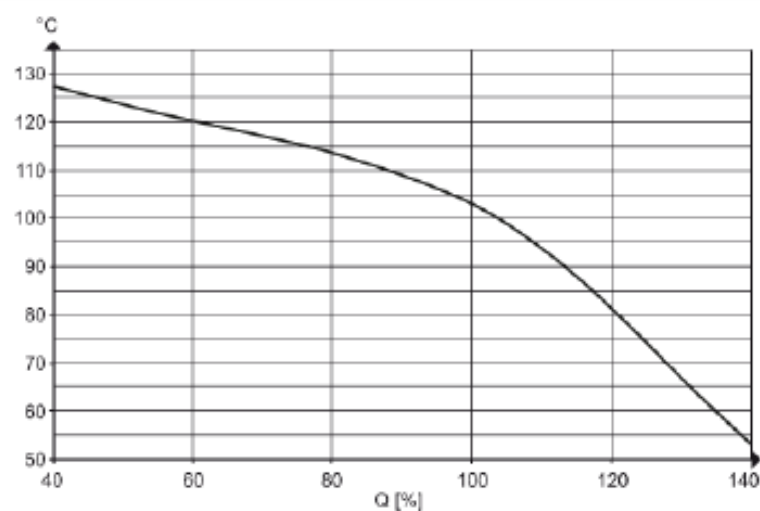
Perda de pressão



dP Perda de pressão

Q vazão volumétrica

10 anos de vida útil no mínimo dependendo da vazão e da alta temperatura do fluido



9. ANEXOS

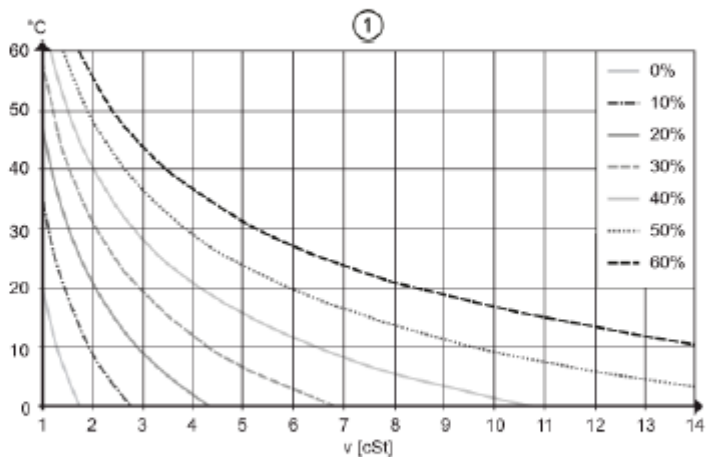
SV6150

Sensor de fluxo Vortex

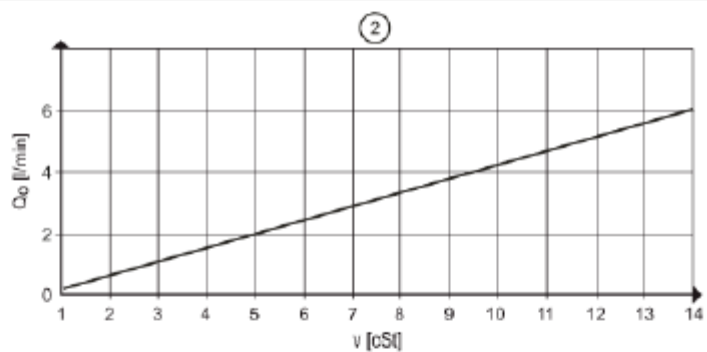
SVM3400D0K0JUS-100



determinação da viscosidade cinemática (ν) da mistura glicol-água em função da temperatura



determinação do valor de correção Q_0 para a mistura glicol-água



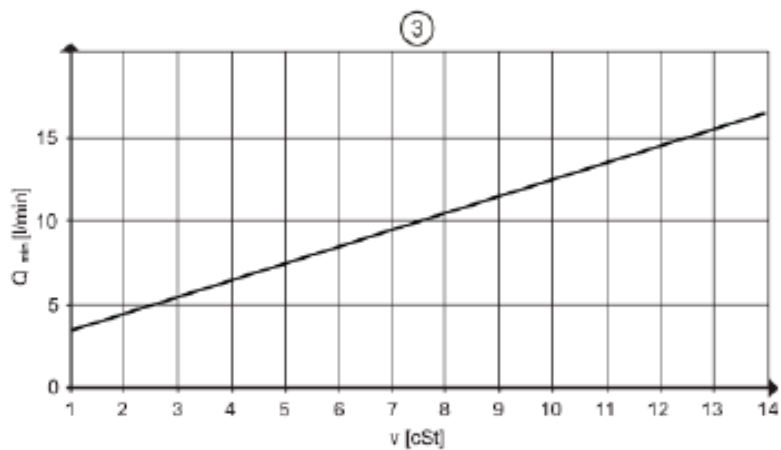
$\nu < 4$ precisão de medição 3 % MEW
 cSt
 $4 < \nu < 14$ precisão de medição 4 % MEW
 cSt

SV6150

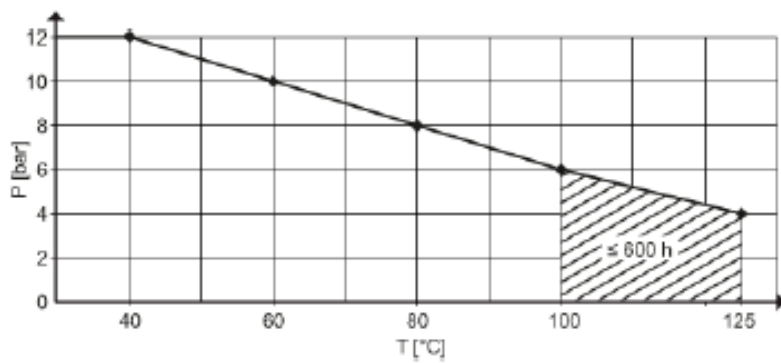
Sensor de fluxo Vortex

SVM3400KD0KG/US-100

Limiar de resposta Q(min)
dependendo da viscosidade
cinemática



resistência à pressão (bar)

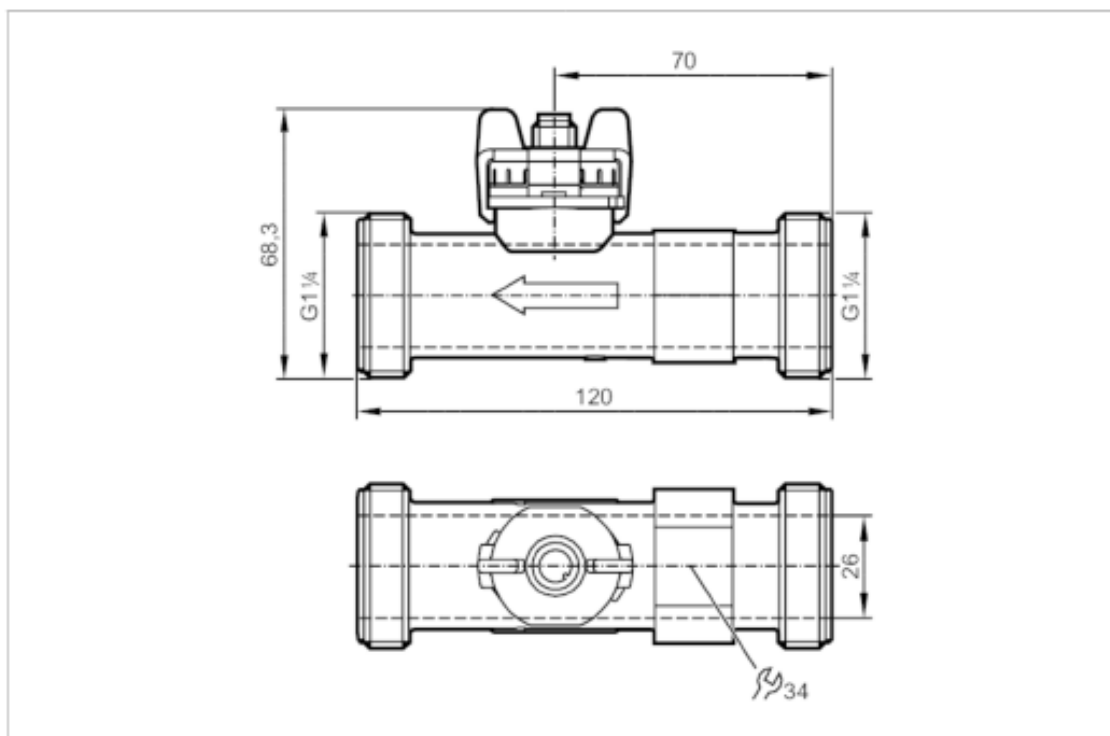


9. ANEXOS

SV8050

Sensor de fluxo Vortex

SVMS400XD0KG/US-100



Campo de aplicação	
Elemento de medição	1 x Pt 1000; (para DIN EN 60751, classe B)
Aplicação	para aplicações industriais
Montagem	conexão à tubulação através de adaptador
Substâncias	água; soluções de glicol; Refrigerantes lubrificantes
Temperatura do fluido [°C]	-40...100
Min. Berstdruck [bar]	25
Resistência à pressão [bar]	12
Aviso da resistência à pressão	até 40 °C
Dados elétricos	
Tensão de operação [V]	8...33 DC
Resistência de isolamento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Classe de proteção	III
Retardo de prontidão [s]	< 2
Entradas/saídas	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas analógicas: 1

SV8050



Sensor de fluxo Vortex

SVM54XXXD0K0JUS-100

Saídas	
Saídas totais	1
Sinal de saída	sinal analógico
Quantidade de saídas analógicas	1
Corrente da saída analógica [mA]	4...20; (água: $Q [l/min] = 9,375 \times (I - 4 \text{ mA})$; glicol-água: $Q [l/min] = 9,375 \times (I - 4 \text{ mA}) - Q_0$ ver figura 2)
Carga máx. [Ω]	$< (U_b - 8 \text{ V}) / 20 \text{ mA}$; $U_b = 24 \text{ V}$; 800
Faixa de medição / de ajuste	
Alcance de medição	9...150 l/min 0,283...4,709 m/s
controle de temperatura	
Sonda de temperatura de autoaquecimento	1 K/mW
Alcance de medição [°C]	-40...100
precisão / desvios	
Controle de fluxo	
Precisão (na área de medição)	$Q < 50 \% \text{ MEW}: < 1 \% \text{ MEW} / Q > 50 \% \text{ MEW}: < 2 \% \text{ MW}$; (água)
Repetibilidade	0,2; (% do valor final)
controle de temperatura	
Precisão [K]	$\pm 0,3 \pm 0,005 \times T$
Tempos de reação	
Controle de fluxo	
Tempo de resposta [s]	0,5
condições ambientais	
Temperatura ambiente [°C]	-15...85
Temperatura de armazenamento [°C]	-30...85
proteção	IP 65
Cavitação	$P(\text{absoluto}) \text{ saída} / P(\text{diferença}) > 5,5$ para evitar cavitação
Certificações / testes	
CEM	EN 61326-2-3
Resistência a choques	DIN EN 60068-2-27 30 g (11 ms)
resistência a vibrações	DIN EN 60068-2-6 com água / 10...61 Hz 1 mm com água / 61...2000 Hz 2 g
MTTF [anos]	380
Diretiva de equipamentos sob pressão	Boas práticas de engenharia; pode ser utilizada para fluidos do grupo 2; substâncias do grupo de fluidos 1 sob encomenda
Dados mecânicos	
Peso [g]	138,5
materiais	PA 6T
Materiais em contato com o fluido	ETFE; PA 6T; FKM
Máx. torque de aperto [Nm]	15
Conexão de processo	conexão da rosca G 1 1/4 DN25

9. ANEXOS

SV8050

Sensor de fluxo Vortex

SVMS4000D0K0J/S-100



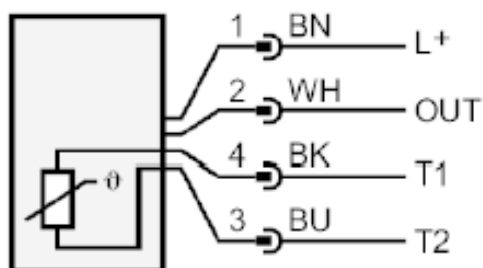
Notas	
Notas	MW = valor de medição
	MEW = Valor final da faixa de medição
Quantidade	1 peça

conexão elétrica

Conexão: 1 x M12; Contatos: dourado



Conexão



OUT: saída analógica

T1 / T2: Pt1000

Codificação de cores conforme DIN EN 60947-5-2

Cores dos condutores :

BK = preto

BN = castanho

BU = azul

WH = branco

SV8050

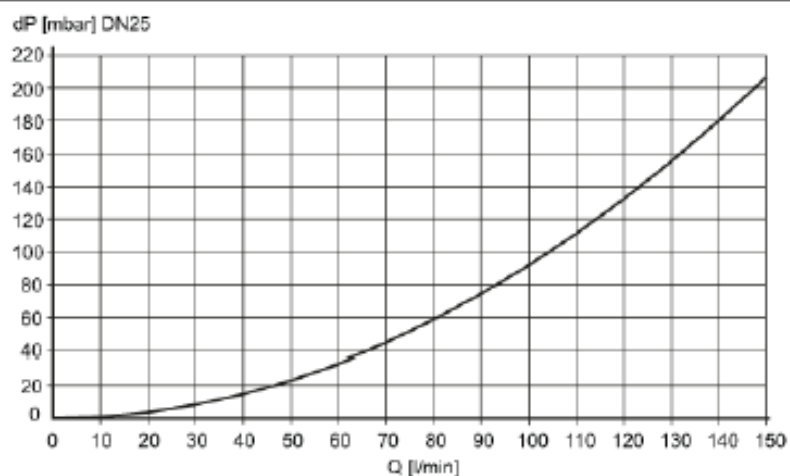
Sensor de fluxo Vortex

SVMS4000D0KG/JS-100



diagrama e curvas

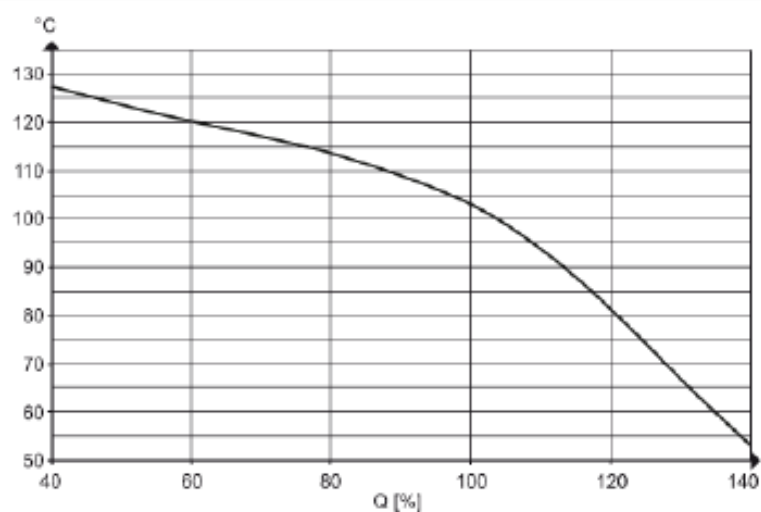
Perda de pressão



dP Perda de pressão

Q vazão volumétrica

10 anos de vida útil no mínimo dependendo da vazão e da alta temperatura do fluido



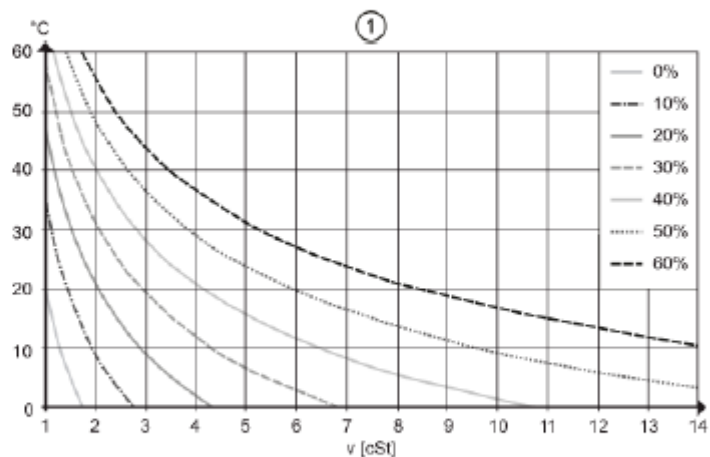
SV8050

Sensor de fluxo Vortex

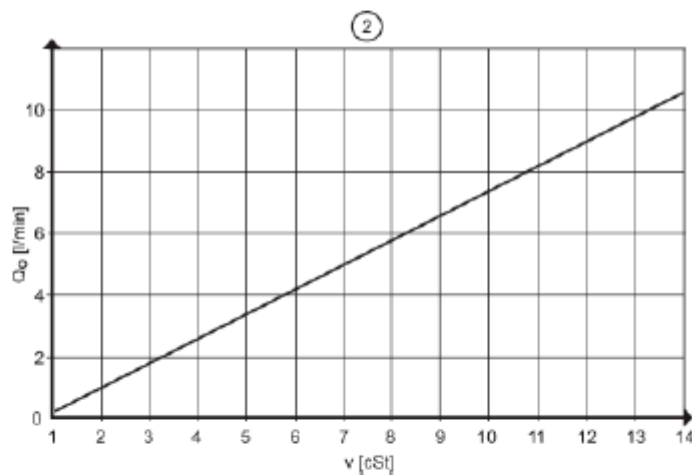
SVMS4000XD0K0JUS-100



determinação da viscosidade cinemática (ν) da mistura glicol-água em função da temperatura



determinação do valor de correção Q_0 para a mistura glicol-água



$\nu < 4$ cSt
 precisão de medição 3 % MEW

$4 < \nu < 14$ cSt
 precisão de medição 4 % MEW

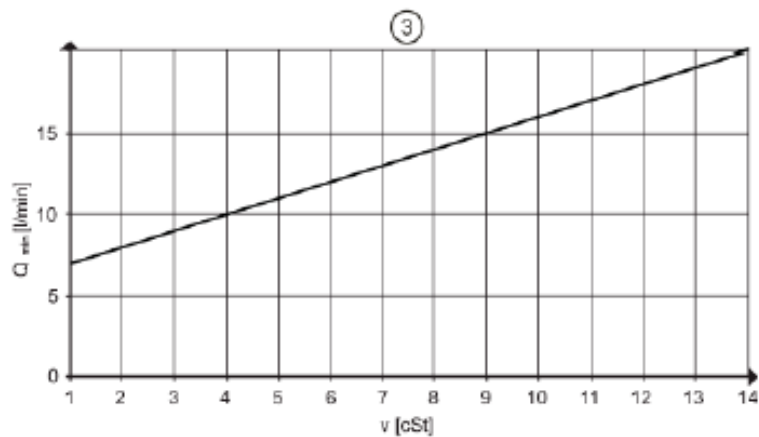
SV8050

Sensor de fluxo Vortex

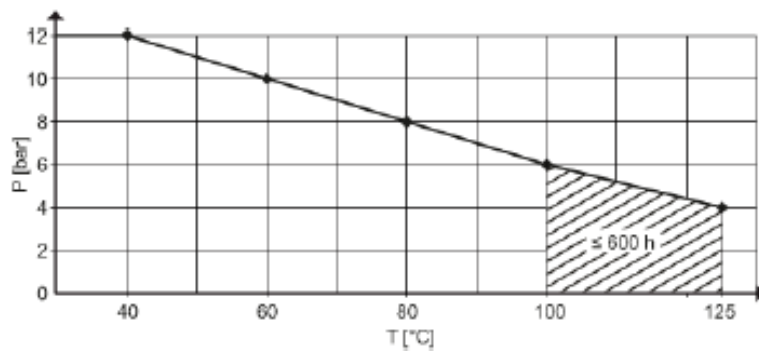
SVMS4XXXD0KGJJS-100



Limiar de resposta Q(min)
dependendo da viscosidade
cinemática.



resistência à pressão (bar)



Anexo 26 – Micro filtro

Water Strainer

Removal of foreign matter in water line

Specifications

Model	Port size	Fluid *1	Proof pressure	Max. operating pressure	Mesh	Ambient and fluid temperature	Weight
WF300-□	Rc1/4, 3/8, 1/2	Water	1.67 MPa	1.18 MPa	100 mesh	5 to 80°C	0.29 kg
WF300-□-1-X204					70 mesh		
WF300-□-2-X204					50 mesh		
WF300-□-3-X204					25 mesh		

*1: Cannot be used with deionized water.

How to Order

WF300-**02**-□

Port size

02	Rc1/4
03	Rc3/8
04	Rc1/2

Mesh

Nil	100 mesh
1-X204	70 mesh
2-X204	50 mesh
3-X204	25 mesh

Mesh:
100/70/50/25 mesh



Related Equipment

Water Regulator WR110-□-X224/WR110-□-X215

Body material:
Special brass



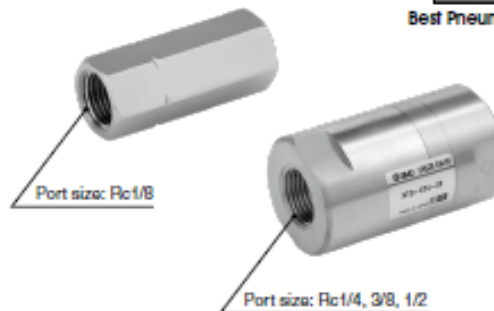
Port size
 - Set pressure range (-X224):
 0.08 to 0.39 MPa
 Rc1/8, Rc1/4
 - Set pressure range (-X215):
 0.05 to 0.69 MPa
 Rc1/8, Rc1/4
 NPT1/8, NPT1/4



14-E627

Check Valve INA-14-290/XTO-674-□□

Body material: Brass



Best Pneumatics

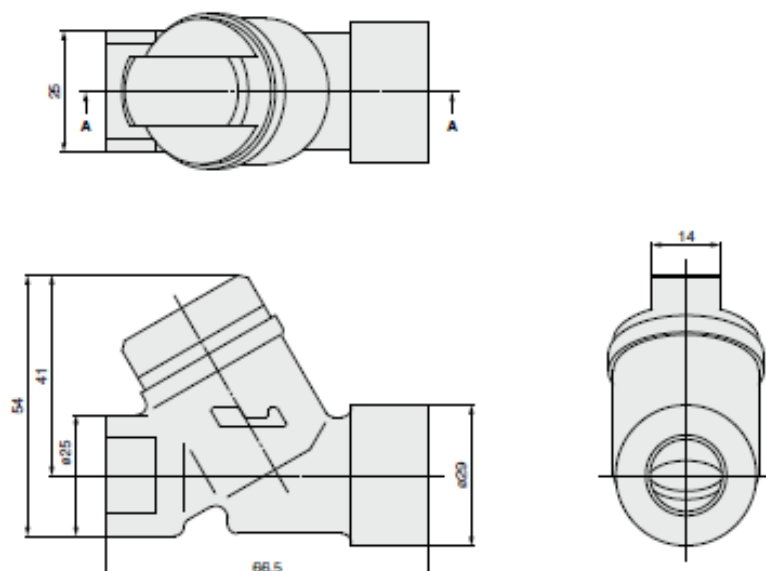
Series **WF300**



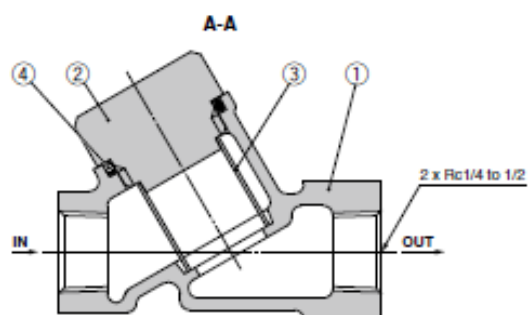
14-E628

Series WF300

Dimensions



Construction



Component Parts

No.	Description	Material
1	Body	Bronze casted
2	Cap	Brass
4	O-ring	NBR

*- Please contact SMC for O-rings which are made of fluorine-based materials.

Replacement Parts

No.	Description	Material	Part number			
			100 mesh	70 mesh	50 mesh	25 mesh
3	Element	Stainless steel	11366	11366-1-1	11366-2-1	11366-3-1

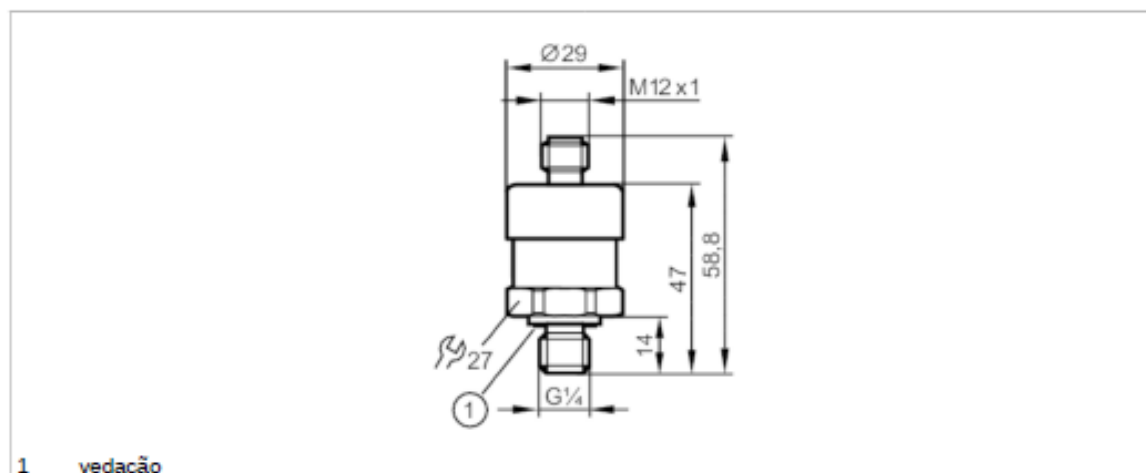
⚠ Safety Instructions Be sure to read the "Handling Precautions for SMC Products" (M-E03-3) and "Operation Manual" before use.

Anexo 27 – Transdutores de pressão

PT0517

Transmissor de pressão

PT-1,6-APG14-A-ZVGNUS



Campo de aplicação	
Aplicação	para aplicações industriais
Substâncias	fluidos líquidos e gasosos
Temperatura do fluido [°C]	0...80
Resistência à pressão [bar]	3,2
Min. Berstdruck [bar]	10
Tipo de pressão	Pressão absoluta
Dados elétricos	
Tensão de operação [V]	8...30 DC
Resistência de isolamento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Classe de proteção	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim
Entradas/saídas	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas analógicas: 1
Saídas	
Saídas totais	1
Sinal de saída	sinal analógico
Quantidade de saídas analógicas	1
Corrente da saída analógica [mA]	4...20
Carga máx. [Ω]	800; (U _b = 24 V; (U _b - 8 V) / 20 mA)
proteção contra curto-circuitos	sim
Faixa de medição / de ajuste	
Alcance de medição [bar]	0...1,6

PT0517



Transmissor de pressão

PT-1,6-APG14-A-ZVGUS

precisão / desvios		
Repetibilidade	[% de duração]	< ± 0,1; (nas variações de temperatura < 10K)
desvio de características	[% de duração]	< ± 1,0; (incl. erro de ponto zero e de tensão, não linearidade, histerese)
Desvio de linearidade	[% de duração]	< ± 0,5 (BFSL) / < ± 1,0 (LS)
Estabilidade ao longo do tempo	[% de duração]	< ± 0,1; (por ano)
Coefficiente de temperatura do ponto zero	[% de duração / 10 K]	< ± 0,2; (0...80 °C)
Coefficiente de temperatura da amplitude	[% de duração / 10 K]	< ± 0,2; (0...80 °C)
Tempos de reação		
Tempo da resposta de passo saída analógica	[ms]	4
condições ambientais		
Temperatura ambiente	[°C]	0...80
Temperatura de armazenamento	[°C]	-20...80
proteção		IP 67
Certificações / testes		
CEM		DIN EN 61326-1
Resistência a choques		DIN EN 60068-2-27
resistência a vibrações		DIN EN 60068-2-6
MTTF	[anos]	815
Diretiva de equipamentos sob pressão		Boas práticas de engenharia; pode ser utilizada para fluidos do grupo 2; substâncias do grupo de fluidos 1 sob encomenda
Dados mecânicos		
Peso	[g]	120,5
materiais		1.4404 (aço inoxidável / 316L); HNBR; PA
Materiais em contato com o fluido		1.4404 (aço inoxidável / 316L)
Ciclos de pressão mín.		10 milhões
Máx. torque de aperto	[Nm]	25...35; (torque recomendado; Depende da lubrificação, vedação e nível de pressão)
Conexão de processo		conexão da rosca G 1/4 rosca externa (DIN EN ISO 1179-2)
Vedação da conexão do processo		NBR (conforme DIN 3869)
Fluido de enchimento para transmissão de pressão		óleo sintético
Elemento de estrangulamento disponível		não

PT0517



Transmissor de pressão

PT-1,8-AFG14-A-ZVGUS

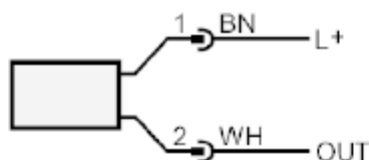
Notas	
Notas	BFSL = Best Fit Straight Line (configuração do valor mínimo)
	LS = ajuste de ponto limite
Quantidade	1 peça

conexão elétrica

Conexão: 1 x M12



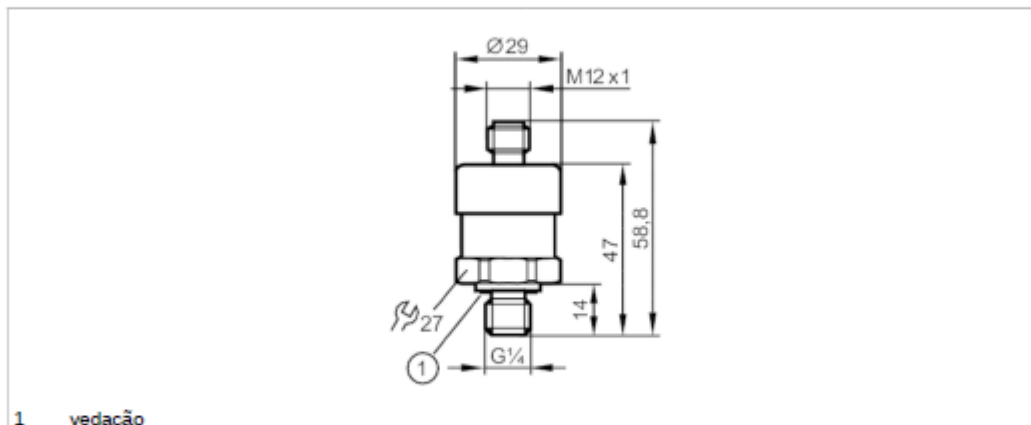
Conexão



OUT saída analógica
 Codificação de cores conforme DIN EN 60947-5-2
 Cores dos condutores :
 BN = castanho
 WH = branco

PT0504**Transmissor de pressão**

PT-010-AFG14-A-ZVG/US

**Campo de aplicação**

Aplicação	para aplicações industriais
Substâncias	fluidos líquidos e gasosos
Temperatura do fluido [°C]	0...80
Resistência à pressão [bar]	20
Min. Berstdruck [bar]	50
Tipo de pressão	Pressão absoluta

Dados elétricos

Tensão de operação [V]	8...30 DC
Resistência de isolamento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Classe de proteção	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim

Entradas/saídas

Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas analógicas: 1
---------------------------------	------------------------------------

Saídas

Saídas totais	1
Sinal de saída	sinal analógico
Quantidade de saídas analógicas	1
Corrente da saída analógica [mA]	4...20
Carga máx. [Ω]	800; (U _b = 24 V; (U _b - 8 V) / 20 mA)
proteção contra curto-circuitos	sim

Faixa de medição / de ajuste

Alcance de medição [bar]	0...10
--------------------------	--------

9. ANEXOS

PT0504



Transmissor de pressão

PT-010-AFG14-A-ZVG/US

precisão / desvios		
Repetibilidade	[% de duração]	$< \pm 0,05$; (nas variações de temperatura $< 10K$)
desvio de características	[% de duração]	$< \pm 1,0$; (incl. erro de ponto zero e de tensão, não linearidade, histerese)
Desvio de linearidade	[% de duração]	$< \pm 0,5$ (BFSL) / $< \pm 1,0$ (LS)
Estabilidade ao longo do tempo	[% de duração]	$< \pm 0,1$; (por ano)
Coefficiente de temperatura do ponto zero	[% de duração / 10 K]	$< \pm 0,2$; (0...80 °C)
Coefficiente de temperatura da amplitude	[% de duração / 10 K]	$< \pm 0,2$; (0...80 °C)
Tempos de reação		
Tempo da resposta de passo saída analógica	[ms]	4
condições ambientais		
Temperatura ambiente	[°C]	0...80
Temperatura de armazenamento	[°C]	-20...80
proteção		IP 67
Certificações / testes		
CEM		DIN EN 61326-1
Resistência a choques		DIN EN 60068-2-27
resistência a vibrações		DIN EN 60068-2-6
MTTF	[anos]	815
Diretiva de equipamentos sob pressão		Boas práticas de engenharia; pode ser utilizada para fluidos do grupo 2; substâncias do grupo de fluidos 1 sob encomenda
Dados mecânicos		
Peso	[g]	120
materiais		1.4404 (aço inoxidável / 316L); HNBR; PA
Materiais em contato com o fluido		1.4404 (aço inoxidável / 316L); 1.4534 (13-8 PH)
Ciclos de pressão mín.		10 milhões
Máx. torque de aperto	[Nm]	25...35; (torque recomendado; Depende da lubrificação, vedação e nível de pressão)
Conexão de processo		conexão da rosca G 1/4 rosca externa (DIN EN ISO 1179-2)
Vedação da conexão do processo		NBR (conforme DIN 3869)
Fluido de enchimento para transmissão de pressão		óleo sintético
Elemento de estrangulamento disponível		não

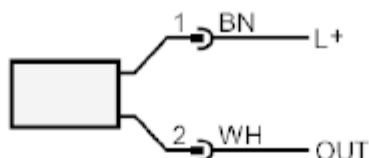
PT0504**Transmissor de pressão**

PT-010-AFG14-A-ZVGIUS

Notas	
Notas	BFSL = Best Fit Straight Line (configuração do valor mínimo)
	LS = ajuste de ponto limite
Quantidade	1 peça

conexão elétrica

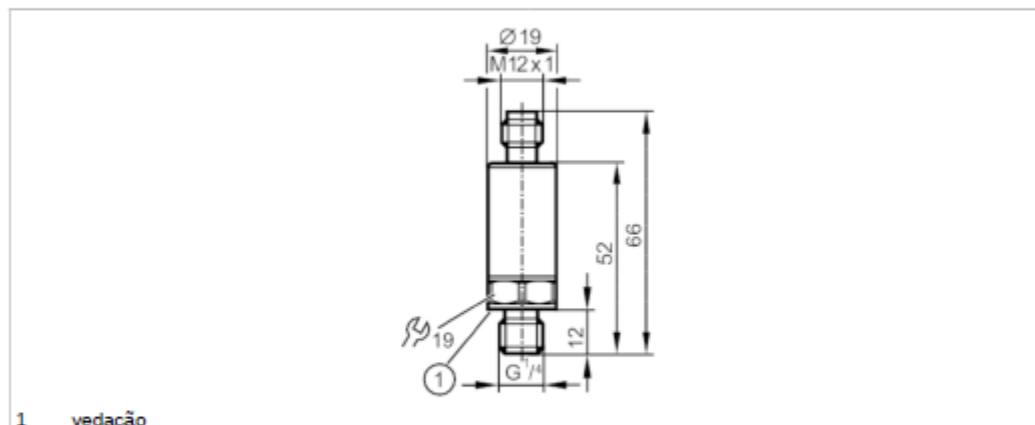
Conexão: 1 x M12

**Conexão**

OUT	saída analógica Codificação de cores conforme DIN EN 60947-5-2 Cores dos condutores :
BN =	castanho
WH =	branco

PT5414**Transmissor de pressão**

PT-016-SEG14-A-ZVGIUSI IW



1 vedação



Campo de aplicação	
Aplicação	para aplicações industriais
Substâncias	fluidos líquidos e gasosos
Temperatura do fluido [°C]	-40...90
Resistência à pressão [bar]	40
Aviso da resistência à pressão	estático
Min. Berstdruck [bar]	450
Resistência contra vácuo [mbar]	-1000
Tipo de pressão	pressão relativa
Dados elétricos	
Tensão de operação [V]	8,5...36 DC
Resistência de isolamento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Classe de proteção	III
Proteção contra inversão de polaridade	sim
Entradas/saídas	
Quantidade de entradas e saídas	Quantidade de saídas analógicas: 1

PT5414



Transmissor de pressão

PT-016-SEG14-A-ZVD/US/ IW

Saídas	
Saídas totais	1
Sinal de saída	sinal analógico
Quantidade de saídas analógicas	1
Corrente da saída analógica [mA]	4...20
Carga máx. [Ω]	720; (U _b = 24 V; (U _b - 8,5 V) / 21,5 mA)
proteção contra curto-circuitos	sim
Proteção contra sobrecarga	sim
Faixa de medição / de ajuste	
Alcance de medição [bar]	0...16
precisão / desvios	
Repetibilidade [% de duração]	< ± 0,05; (nas variações de temperatura < 10K)
desvio de características [% de duração]	< ± 0,5; (incl. desvio de aparafusamento, erro de ponto zero e de tensão, não linearidade, histerese)
Desvio de linearidade [% de duração]	< ± 0,1 (BFSL) / < ± 0,2 (LS)
Desvio de histerese [% de duração]	< ± 0,2
Estabilidade ao longo do tempo [% de duração]	< ± 0,1; (por 6 meses)
Coefficiente de temperatura do ponto zero e amplitude [% de duração / 10 K]	< 0,1 (-25...90 °C) / < 0,2 (-40...-25 °C)
Tempos de reação	
Tempo da resposta de passo saída analógica [ms]	1
condições ambientais	
Temperatura ambiente [°C]	-40...90
Temperatura de armazenamento [°C]	-40...100
proteção	IP 67; IP 69K
Certificações / testes	
CEM	DIN EN 61000-6-2 DIN EN 61000-6-3
Resistência a choques	DIN EN 60068-2-27 50 g (11 ms)
resistência a vibrações	DIN EN 60068-2-6 20 g (10...2000 Hz)
MTTF [anos]	784
Diretiva de equipamentos sob pressão	Boas práticas de engenharia; pode ser utilizada para fluidos do grupo 2; substâncias do grupo de fluidos 1 sob encomenda

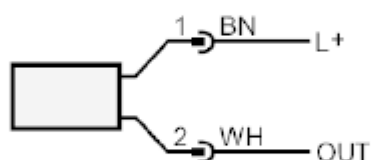
PT5414**Transmissor de pressão**

PT-016-SEG14-A-ZVG/US/ IW

Dados mecânicos	
Peso [g]	55,4
materiais	1.4542 (17-4 PH / 630); 1.4404 (aço inoxidável / 316L); PEI
Materiais em contato com o fluido	1.4542 (17-4 PH / 630)
Ciclos de pressão mín.	60 milhões; (a 1,2 da pressão nominal)
Máx. torque de aperto [Nm]	25...35; (torque recomendado; Depende da lubrificação, vedação e nível de pressão)
Conexão de processo	conexão da rosca G 1/4 rosca externa (DIN EN ISO 1179-2)
Vedação da conexão do processo	FKM (conforme DIN 3869)
Elemento de estrangulamento disponível	não
Notas	
Notas	BFSL = Best Fit Straight Line (configuração do valor mínimo) LS = ajuste de ponto limite
Quantidade	1 peça
conexão elétrica	
Conexão: 1 x M12	

PT5414**Transmissor de pressão**

PT-016-SEG14-A-ZVG/US/ IW

**Conexão**

OUT saída analógica

A seguinte atribuição de pinos está disponível sob encomenda: Pin 1: L+, Pin 3: OUT

Codificação de cores conforme DIN EN 60947-5-2

Cores dos condutores :

BN castanho

WH branco

Anexo 28 – Máquina de alta pressão Kärcher

KÄRCHER



HDS 10/20-4 M

As nossas novas lavadoras de alta pressão a quente da classe média e super não somente realizam um trabalho de primeira, como também são extremamente robustas e de fácil utilização. O novo modo ECO, exclusivo da Kärcher, tornam-as verdadeiramente imbatíveis. Quando a máquina é operada no modo ECO, trabalha automaticamente na gama de temperatura mais económica, não somente poupando custos como também de modo amigo do ambiente.

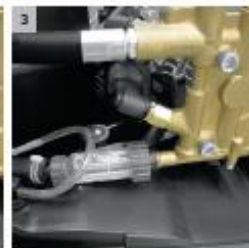
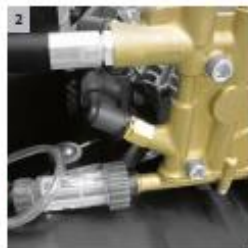


1 Economia

- No modo ECO, a unidade funciona na amplitude de temperatura mais ecológica (60°C) com caudal de água máximo.
- Os ciclos de queima são otimizados para redução do consumo de combustível até 20% quando comparado com a operação a carga máxima.

2 Fiabilidade operacional

- O filtro de entrada de água de malha fina de grandes dimensões protege fiavelmente a bomba de alta pressão das partículas de sujidade.
- Um termostato de gás de exaustão integrado desliga o motor se a temperatura exceder o 300°C.



3 Fiabilidade operacional

- O filtro de entrada de água de malha fina de grandes dimensões protege fiavelmente a bomba de alta pressão das partículas de sujidade.
- Um termostato de gás de exaustão integrado desliga o motor se a temperatura exceder o 300°C.

4 Arrumação

- Gancho de arrumação para o cabo de alimentação e a mangueira de alta pressão.



HDS 10/20-4 M, 1.073.900.0, 2018-11-05




HDS 10/20-4 M

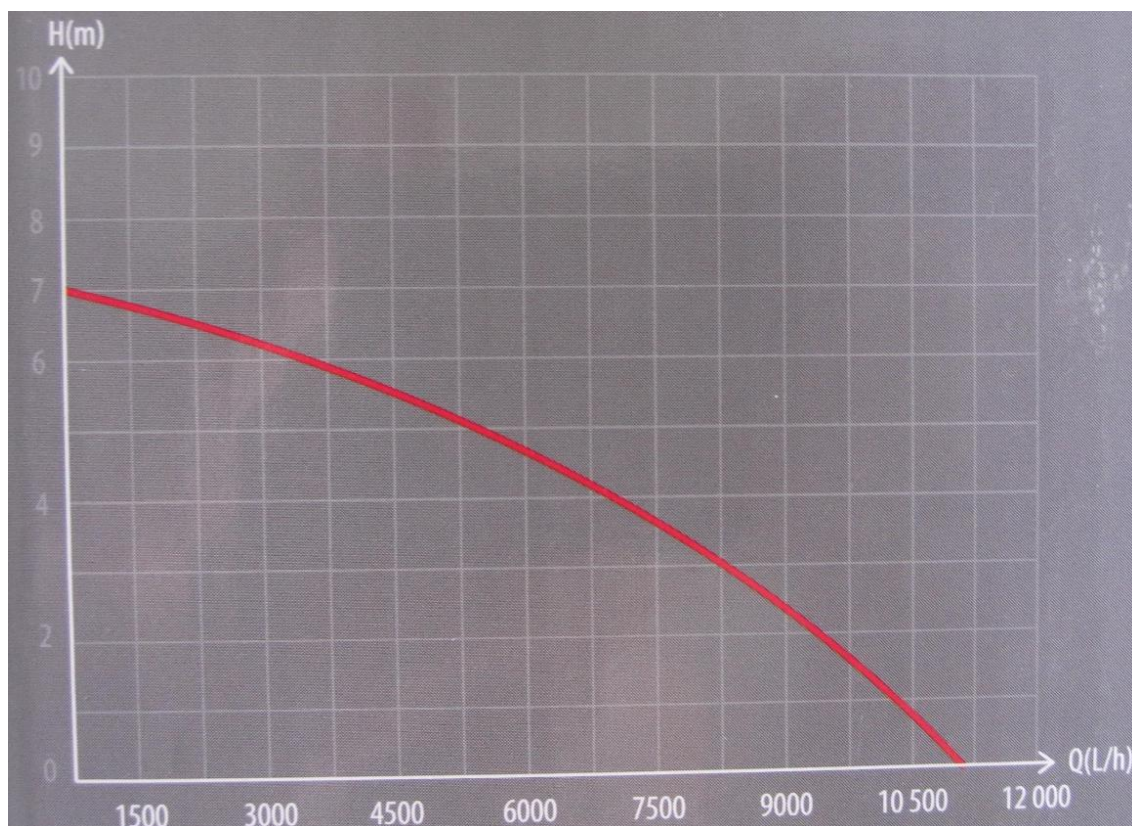
- Nivel ecoeficiencia económica
- 2 depósitos para detergente

Dados técnicos		
Referência		1.071-900.0
Código de barras (EAN)		4054278134925
Tipo actual	Pn / V / Hz	3 / 400 / 50
Caudal de água	l/h	500-1000
Pressão de trabalho	bar / MPa	30-200 / 3-20
Temperatura máx.	°C	80 / 155
Potência	kW	7,8
Consumo gasóleo	kg/h	6,4
Depósito do combustível	l	25
Peso	kg	168
Medidas (DxLxA)	mm	1330 x 750 x 1060

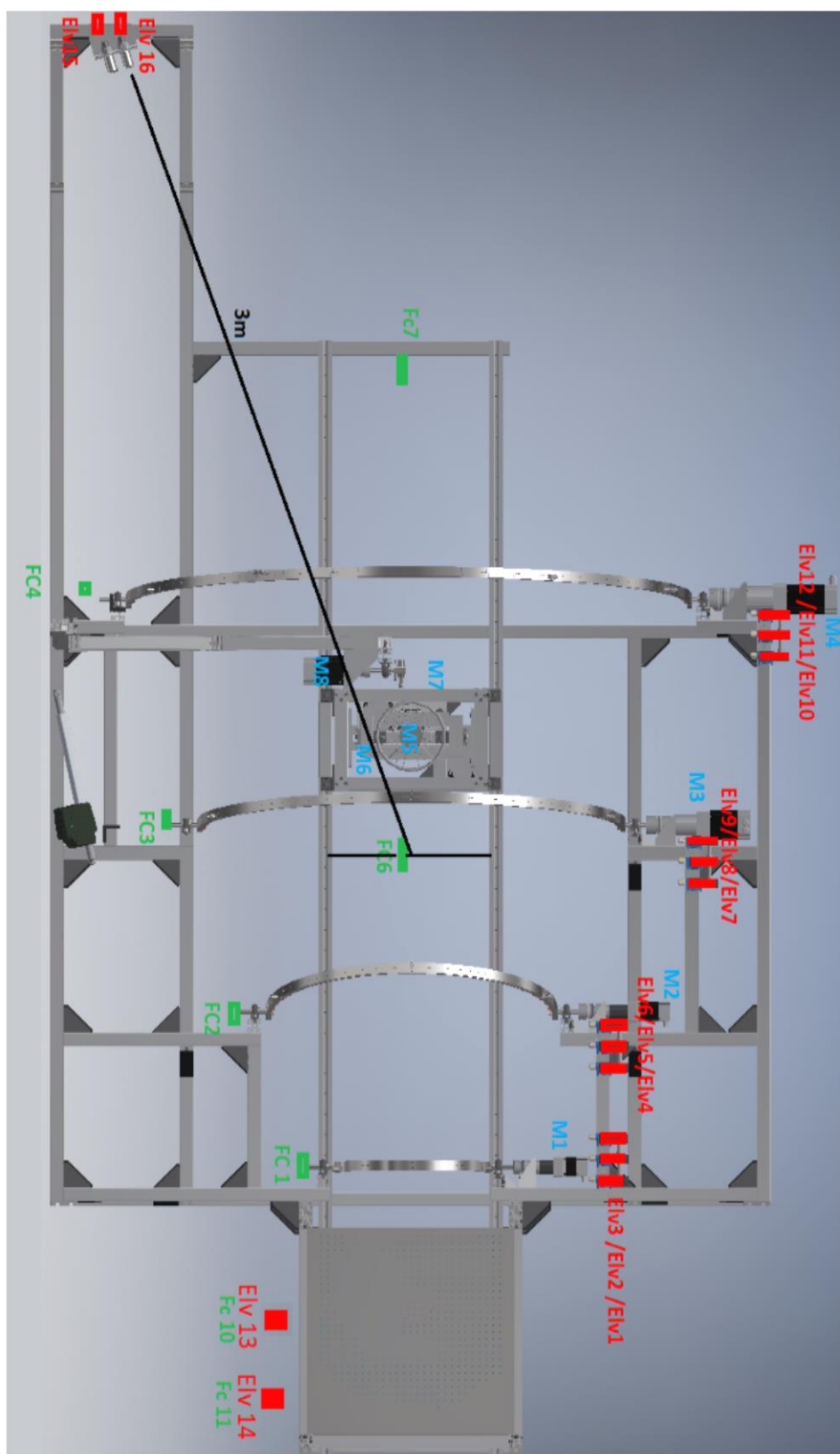
Equipamento			
Pistola		EA SP Force Advanced	2 depósitos para detergente ■
Mangueira de alta pressão	m	10	Proteção de funcionamento a seco ■
Lança	mm	1050	
Bico frezador		■	
Servo Control (regulação de pressão)		■	
		■	
Os depósitos de detergente, descalcificante e o combustível podem ser abastecidos a partir do exterior		■	
Panel de controlo com luz indicadora		■	
Interruptor de controlo de pressão		■	
Tomada comutadora de pólos (três fases)		■	
Controlo de manutenção electrónico com monitor LED		■	

HDS 10/20-4 M, 1.071-900.0, 2018-11-05

Anexo 29 – Curva característica bomba Sterwins 500W



Anexo 30 – Esquema de circuito de controlo de água



Anexo 31 – Lista de material**Barras de alumino**

Qt.	Dim. (mm)	Designação	
1	145	Perfil Alumínio 40x80	
1	176		
2	376		
1	416		
2	576		
1	660		
2	687		
2	776		
1	926		
1	1100		
3	1110		
2	1390		
4	1620		
1	1680		
1	1700		
3	1710		
2	1943		
10	100		Perfil Alumínio 40x40
2	120		
3	150		
1	163		
2	175		
8	220		
1	242		
4	250		
4	260		
1	300		
2	348		
2	415		
1	416		
2	425		
2	500		
2	505		
2	540		
3	543		
1	575		
2	600		
2	607		
2	620		
8	1030		
6	1100		
2	1390		
4	1980		
2	3260		

Componentes de movimento

Qt.	Designação	Referencia
2	Motor Nanotec	AS5918M2804-E
1	Motor Nanotec	AS5918L4204-E
3	Motor Nanotec	AP8918L9504-E
1	Motor Nanotec	AP8918M6404-E
1	Servo motor SEW	CMP63M
1	Caixa redutora Nanotec	GPLE40-2S-16-F56
1	Caixa redutora Nanotec	GPLE40-2S-32-F56
1	Caixa redutora Nanotec	GPLE60-2S-25-F87
1	Caixa redutora Nanotec	GPLE80-2S-40-F87
1	Caixa redutora Nanotec	GPLE40-3S-160-F56
1	Caixa redutora SEW	PSC 322-15
1	Acoplamento RINGFEDER	PKN4,5-10-12
1	Acoplamento RINGFEDER	PKN18-10-12
1	Acoplamento RINGFEDER	PKN30-14-12
1	Acoplamento RINGFEDER	PKN60-20-12
1	Acoplamento RINGFEDER	PKN10-12-12
1	Acoplamento RINGFEDER	PKN4,5-12-12
1	Acoplamento Fenner	6202815UP
2	Acoplamento Fenner	TTQM1426
9	Chumaceira com rolamento	YAR 203/12-2F
1	Chumaceira com rolamento	FY15TF
1	Chumaceira com rolamento	FY17TF
1	Rolamento	3200-A-2RS1
2	Guia linear IGUS (comprimento=3000mm)	NS-01-40
2	Guia linear IGUS (comprimento=500mm)	WS-10-40
4	Patim guia linear IGUS	NW-11-40
2	Sistema patim guia IGUS	WW-10-40-10
1	Correia dentada Optibelt	16T19/6360 st
1	Correia dentada Optibelt OMEGA HP	450 5M HP 15
2	Grampo de correia	CP-16/T10 Tipo A-1
2	Polia dentada	31/T10/36-2 6F
1	Polia dentada	20-5M-15 6f
1	Polia dentada	72-5M-15 6f
1	Fuso passo rápido IGUS [L=500mm]	DST-LS-20x60-R-ES
1	Porca fuso passo rápido IGUS	DST-JFRM-3244DS-20x60
1	Atuador pneumático SMC	CDG5EA32SR-200-G5BAZ
1	Suporte para cilindro	C85C25-25

9. ANEXOS

1	Rótula de êmbolo	KJ10D-25
1	Suporte para rótula	D5032

Sistema Hidráulico

Qt.	Designação	Referencia
1	Electroválvula Parker	3121BSN1GV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	3121BSN1LV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	321BSN1NV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	3121BSN1QV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	3121BSN1JV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	321BSN1NV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	3121BSN1QV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	121K0250-2995-481865-C2
1	Electroválvula Parker	3121BSN1QV00-M1S1-C2
1	Electroválvula Parker	121K0150-4270-486265-C2
1	Electroválvula Parker	121K0150-4270-486265-C2
1	Electroválvula Parker	321K31-8993-481180-C2
1	Electroválvula Parker	321K31-8993-488980-C2
1	Electroválvula Parker	321K3606-8993-481180-C2
1	Electroválvula Parker	321K31-8993-481180-C2
1	Electroválvula Parker	E121K67-4270-481865-220/50
2	Electroválvula SMC	VXD232AGA
4	Redutores de pressão Parker	P3FA102
1	Caudalimetro IFM vortex SV	SV3150
1	Caudalimetro IFM vortex SV	SV6150
1	Caudalimetro IFM vortex SV	SV8050
4	Pré-Filtro	WF300-02
1	Transdutor de pressão IFM	PT0517
1	Transdutor de pressão IFM	PT5414
2	Transdutor de pressão IFM	PT0507
1	Transdutor de pressão IFM	PT0504
2	Sensor de nível float	824-LS309-31
2	Válvula de boia RS	802-070
1	Máquina de alta pressão Karcher	HDS 10/20-4 M
1	Conduta de tubo	6.110-031.0
1	Bico alta pressão	2.113-047.0
1	Bomba com boia	STERWINS 500W
1	Deposito água com tampa	Quadrado 50x50x50
1	Deposito	Fibra de 400l quadrado

-	Tubos hidraulicos	2SN-EN 853 DN19
-	Tubos	TU1208
-	Acessórios para tubos	-
150	Bico injetor	Diâmetro 0,8 mm
150	Bico injetor	Diâmetro 0,4 mm
1	Sistema Hidrocontrol 2000	-

Peças a Construir

Qt.	Designação
1	Arco 200
1	Arco 400
1	Arco 600
1	Arco 800
2	Suporte motor Nema 23 (arcos 200 e 400)
1	Suporte motor Nema 34 (arco 600)
1	Suporte motor Nema 34 (arco 800)
1	Suporte motor horizontal
1	Suporte rolamento de correia
1	Suporte porca fuso
1	Suporte vertical
2	Suporte guia vertical
2	Reforço vertical
1	Suporte mesa
1	Veio rotação mesa
1	Suporte motor vertical
1	Mesa 15°
1	Mesa 150
1	Mesa 350
1	Mesa 550
1	Mesa 750
1	Suporte motor jato
1	Veio suporte
1	Suporte bico jato
1	União bico jato