



**Universidade de
Aveiro
2016**

Departamento de Engenharia Mecânica

**Fábio André
Esteves Pereira**

**Construção e Teste de Praticável de Ginástica
Artística e Rítmica**



**Universidade de
Aveiro
2016**

Departamento de Engenharia Mecânica

**Fábio André
Esteves Pereira**

**Construção e Teste de Praticável de Ginástica
Artística e Rítmica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Dr. António Manuel de Bastos Pereira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

O júri

Presidente

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo

Professor auxiliar c/ agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Luís Manuel Pires Martins de Abreu

Professor adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda da Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Doutor António Manuel de Bastos Pereira

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel de Bastos Pereira, pela dedicação e disponibilidade.

Aos meus pais, irmão e à Inês por todo o apoio e paciência.

Palavras-chave

Piso de Ginástica, Máquina de ensaios, Ensaio de impacto, Ensaio de atrito, Célula de carga, *Encoder* de fio.

Resumo

A presente dissertação teve como objetivo a alteração de uma máquina de ensaios de Impacto, construção de uma máquina de ensaios de atrito e posterior utilização na caracterização do comportamento mecânico de um piso de ginástica artística e rítmica. Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica dos métodos e equipamentos de ensaios de impacto e atrito e principalmente das normas que regem a validação de pisos de ginástica artística e rítmica. Foi alterada uma máquina de ensaios de impacto de modo a instalar um sistema de aquisição de dados de maior precisão e fiabilidade. Seguidamente foi terminado um projeto existente de uma máquina de ensaios de atrito e fabricadas as peças necessárias para a sua conclusão. Por fim foram realizados os ensaios necessários para caracterização do piso de ginástica em estudo, bem como o tratamento dos dados adquiridos durante a realização dos mesmos, a partir dos quais foi possível confirmar o bom funcionamento dos equipamentos desenvolvidos. Concluiu-se ainda que os pisos de ginástica ensaiados não satisfazem os limites impostos pela norma, tendo sido obtidos valores aceitáveis para todas as variáveis em estudo excepto no afundamento, que revelou um valor excessivo.

Keywords

Gymnastic floor, Testing machine, Impact tests, Friction tests, Load cell, Draw wire encoder.

Abstract

This thesis aimed to change an impact testing machine, building a friction testing machine and subsequent use in the characterization of the mechanical behavior of an artistic and rhythmic gymnastics floor. A review of the methods and equipment of impact and friction test and particularly the rules governing the validation of artistic and rhythmic gymnastics floors. An impact test machine was modified to install a data acquisition system with greater accuracy and reliability. Then it was concluded an existing design of a friction testing machine and manufactured the parts needed for its completion. Finally the necessary tests to characterize the gymnastics floor in study were carried out and a treatment of the acquired data was made, from which it was possible to confirm the proper functioning of the equipment developed. It was also concluded that the tested gymnastics floors do not meet the limits imposed by the standard, having been obtained acceptable values for all the studied variables except in the sinking, which revealed an excessive value.

Conteúdo	i
Lista de Tabelas	iii
Lista de Figuras	v
1 Objetivos e enquadramento	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Enquadramento	1
1.3 Ensaio de Impacto	2
1.4 Ensaio de Atrito.....	3
1.5 Norma FIG-MAG 1	4
1.6 Norma FIG-RG 1	6
1.7 Norma BS EN-12503-6	7
1.8 Norma ISO 48.....	8
2 Piso de ginástica	9
3 Máquina de Ensaio de Impacto	13
3.1 Viga de Suporte do Impactor	14
3.2 Guincho de elevação do impactor.....	15
3.3 Impactor.....	16
3.4 Mecanismo de Libertação do Impactor	18
3.5 Sistema de aquisição de dados.....	19
4 Máquina de Ensaio de Atrito	31

4.1	Estrutura de Suporte.....	32
4.2	Sistema de transporte do deslizador.....	33
4.3	Base e apoio do motor	34
4.4	Motor e Equipamento de Controlo	35
4.5	Transmissão de Potência para a Correia de Transporte	39
4.6	Deslizador	42
4.7	Sistema de aquisição de dados.....	47
5	Procedimento experimental	53
5.1	Calibração das células de carga	53
5.2	Calibração do <i>encoder</i> de fio	55
5.3	Teste do termopar de superfície.....	56
5.4	Ensaio de Impacto	57
5.5	Ensaio de Atrito.....	60
6	Conclusões e trabalhos futuros	65
7	Referências Bibliográficas.....	67

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Intervalo de tolerância para o valor das variáveis medidas nos ensaios de impacto.	6
Tabela 1.2: Intervalo de tolerância para as variáveis medidas nos ensaios de atrito.....	7
Tabela 3.1: Características principais do chassis NI cDAQ-9178 [12].....	21
Tabela 3.2: Características principais da carta NI 9237 [12].	21
Tabela 3.3: Características principais do <i>encoder</i> RLX50A.	25
Tabela 3.4: Principais características da fonte de alimentação Escort EPS-3250.....	27
Tabela 3.5: Características principais do dispositivo Spider 8.....	28
Tabela 4.1: Principais características do motor BSHB3913 H [16].....	36
Tabela 4.2: Principais características do Arduino Uno.	38
Tabela 4.3: Características principais do <i>driver</i> DM3722M.	38
Tabela 4.4: Características principais da correia e polias utilizadas.	41
Tabela 4.5: Resultados dos ensaios de dureza da borracha.	45
Tabela 4.6: Características principais do termopar de superfície [21].	49
Tabela 4.7: Principais características da carta NI 9211 [12].	50
Tabela 5.1: Resultados obtidos para o piso com placas poliméricas de quatro camadas. ...	58
Tabela 5.2: Resultados obtidos para o piso com placas poliméricas de cinco camadas.....	59
Tabela 5.3: Resultados obtidos nos ensaios de atrito.	63
Tabela 5.4: Resultados do aumento de temperatura na superfície.	64

Lista de Figuras

Figura 1.1: Máquina de ensaios Charpy e Izod (Imagem adaptada de [3]).	2
Figura 1.2: Máquina de ensaios de impacto (imagem adaptada de [4]).	3
Figura 1.3: Pêndulo britânico [7].	4
Figura 1.4: Pontos de impacto [8].	5
Figura 1.5: Geometria e dimensões do deslizador.	6
Figura 2.1: Componentes do piso de ginástica.	9
Figura 2.2: Sequência de montagem do piso de ginástica.	10
Figura 2.3: Placa de quatro (esquerda) e cinco (direita) camadas.	10
Figura 2.4: Dimensão dos pisos de ginástica testados.	11
Figura 3.1: Máquina de ensaios de impacto.	14
Figura 3.2: Viga de suporte do impactor: (a) pilar do DEM; (b) viga de suporte do impactor; (c) cubo de alojamento do rolamento linear; (d) topo soldado à viga (b); (e) varão corredeira do impactor.	15
Figura 3.3: Guincho de elevação do impactor: (a) Pilar do Dem; (b) Viga de suporte do guincho; (c) Guincho; (d) Cabo de aço do guincho; (e) Cabo elétrico de alimentação do motor do guincho.	16
Figura 3.4: Sistema de amarração (a) e chapa de apoio à aquisição de dados (b).	17
Figura 3.5: Subsistema inferior do impactor: (a) Cilindro de fixação; (b) Disco superior; (c) Célula de carga; (d) Disco inferior; (e) Varão corredeira do impactor.	17
Figura 3.6: Mecanismo de libertação do impactor.	19
Figura 3.7: Conector RJ50 da célula de carga.	20
Figura 3.8: Carta de aquisição NI 9237 e chassis CompactDAQ.	21
Figura 3.9: Aplicação LabVIEW para leitura da célula de carga.	22
Figura 3.10: Sistema de aquisição de posição antigo (à esquerda vista do exterior, à direita vista do interior).	23
Figura 3.11: Resultados obtidos através do sensor ultrassons.	24
Figura 3.12: <i>Encoder</i> de fio [15].	25
Figura 3.13: Suporte do <i>encoder</i> .	26

Figura 3.14: Montagem do <i>encoder</i> : (a) <i>Encoder</i> ; (b) Cubo de alojamento do rolamento linear; (c) Suporte do <i>encoder</i> ; (d) Fio do <i>encoder</i> ; (e) Chapa de apoio à aquisição de dados; (f) Varão corredeira do impactor.	26
Figura 3.15: Fonte de alimentação.	27
Figura 3.16: Spider 8.	27
Figura 3.17: Ligações elétricas.	29
Figura 3.18: Módulo de aquisição de dados do <i>software</i> Catman 4.5: (a) Visualização de cada canal de entrada em tempo real; (b) Botão de início de aquisição de dados; (c) Botão de cessação da aquisição de dados; (d) Tempo decorrido desde o início da aquisição de dados; (e) Número de amostras recolhidas; (f) Botão de gravação em disco dos dados adquiridos; (g) Número de amostras na base de dados; (g) Janela de visualização de gráfico em tempo real dos dados obtidos.....	29
Figura 4.1: Máquina de ensaios de atrito.....	31
Figura 4.2: Estrutura e correia de transporte da máquina de ensaios de atrito: (a) Estrutura de suporte; (b) Correia transportadora; (c) Bloco de rolamentos da polia do veio motor; (d) Bloco de rolamentos da polia do veio livre.	32
Figura 4.3: Estrutura completa: (a) Estrutura inicial; (b) Apoios do motor; (c) Afinadores da correia de transporte.....	33
Figura 4.4: Mecanismo de regulação da pré-tensão da correia de transporte: (a) Parafuso esticador; (b) Chapas afinação; (c) Bloco de rolamentos da polia do veio livre; (d) Correia transportadora.	34
Figura 4.5: Base e apoio do motor.....	35
Figura 4.6: Motor BSHB3913 H [16].....	36
Figura 4.7: Torre de comando.	37
Figura 4.8: Transmissão de potência por correia dentada.	40
Figura 4.9: Mecanismo de afinação da pré-tensão da correia de acionamento: (a) Motor; (b) Apoio do motor; (c) Parafusos de fixação; (d) Chapa de afinação; (e) Parafuso esticador.	41
Figura 4.10: Deslizador da máquina de ensaios de atrito: (a) Deslizador de madeira; (b) Chapa de adição de peso; (c) Suporte do deslizador; (d) Suporte do termopar de superfície; (e) Abraçadeira de fixação do termopar; (f) Termopar de superfície; (g) Capa protetora do filamento do termopar; (h) Sola do deslizador.	42
Figura 4.11: Deslizadores de borracha 96 para pêndulo de fricção [20].	42

Figura 4.12: Suporte e indentador: (a) Cabeça boleada; (b) Corpo; (d) Ponta da esferográfica.	43
Figura 4.13: Pé utilizado no teste da borracha.	44
Figura 4.14: Conjunto indentador e pé.	44
Figura 4.15: Sola de borracha aplicada no deslizador de madeira.	45
Figura 4.16: Suporte de ligação do deslizador à correia de transporte.	46
Figura 4.17: Suporte do termopar de superfície.	47
Figura 4.18: Montagem da célula de carga: (a) Bloco de rolamentos do veio livre; (b) Parafuso de ligação do suporte do deslizador à célula de carga; (c) Suporte do deslizador; (d) Célula de carga; (e) Chapa de adição de peso; (f) Deslizador de madeira; (g) Parafuso de ligação do suporte da correia transportadora à célula de carga; (h) Parafuso de ligação entre o suporte e a correia transportadora; (i) Suporte da correia transportadora; (j) Correia transportadora.	48
Figura 4.19: Termopar de superfície (à esquerda: selo de certificação do termopar; à direita: base e filamento do termopar).	48
Figura 4.20: Carta de leitura de termopar NI 9211.	50
Figura 4.21: Aplicação de visualização e gravação de dados obtidos da célula de carga e termopar.	51
Figura 5.1: Montagem das células de carga para calibração, à compressão (esquerda) e tração (direita).	53
Figura 5.2: Reta de calibração da célula de 20 kN.	54
Figura 5.3: Reta de calibração da célula de 1000 N.	54
Figura 5.4: Medição de uma cota real (125 mm) para calibração do encoder: (a) Base do impactor; (b) Fita métrica metálica; (c) Base de calibração.	55
Figura 5.5: Reta de calibração do <i>encoder</i>	56
Figura 5.6: Pontos de realização de ensaios de impacto, ordenados de acordo com o realizado experimentalmente.	57
Figura 5.7: Máquina de ensaios de atrito em posição de teste, com representação das direções A e B testadas.	60
Figura 5.8: Resultado obtido de um teste para a força de atrito.	61
Figura 5.9: Resultado obtido de um ensaio para a variação de temperatura.	62
Figura 5.10: Efeito do deslizador na leitura da variação da temperatura.	63

Capítulo 1

1 Objetivos e enquadramento

1.1 Objetivos

O objetivo principal desta Dissertação foi a caracterização do comportamento de um piso de ginástica quando sujeito a ensaios de impacto e atrito. Os ensaios tinham de ser realizados segundo as diretivas de normas internacionais de modo a perceber se o piso teria as condições necessárias para receber o certificado de homologação da Federação Internacional de Ginástica (FIG).

Para que o objetivo pudesse ser cumprido foi necessário:

- Alterar a máquina de ensaios de impacto (MEI) existente no Departamento de Engenharia Mecânica (DEM);
- Construir uma máquina de ensaios de atrito (MEA);
- Realizar ensaios.

1.2 Enquadramento

Num mundo em que cada vez mais a importância do desporto é realçada, é importante que se dotem os recintos desportivos de equipamentos de alta qualidade. Quando se trata de desporto de alta competição é necessário que todos os atletas possuam as mesmas condições de treino para que nenhum seja colocado em desvantagem. Com esse fim em mente, a FIG criou normas pelas quais os fabricantes se devem guiar para produzir os seus equipamentos.

1.3 Ensaio de Impacto

Um ensaio de impacto é caracterizado pela submissão de um material a uma força brusca e repentina, com o intuito de determinar o seu comportamento mecânico quando sujeito a uma carga dinâmica.

Na sua grande maioria os ensaios de impacto são realizados através de dois métodos:

- Ensaio Charpy ou Izod [1];
- Ensaio de impacto por queda livre [2].

Em ambos os referidos métodos a carga a aplicar é obtida a partir da energia potencial inicial do impactor, no entanto os equipamentos utilizados são diferentes.

O equipamento utilizado nos ensaios Charpy e Izod é um sistema que se baseia num impactor suportado numa estrutura pendular (Figura 1.1). Na fase de preparação do ensaio o pêndulo é colocado e mantido a uma determinada altura de modo a que a energia potencial requerida seja atingida. Quando o ensaio inicia, o pêndulo é libertado, promovendo assim um impacto horizontal com o provete a ensaiar.

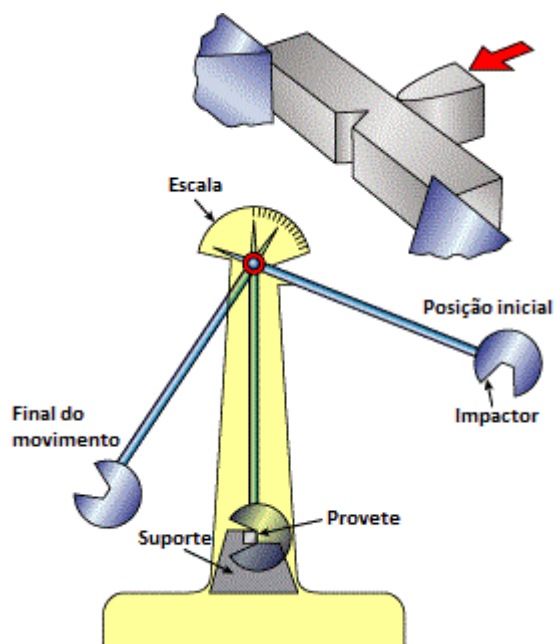


Figura 1.1: Máquina de ensaios Charpy e Izod (Imagem adaptada de [3]).

No caso dos ensaios de impacto por queda livre é utilizado um equipamento constituído habitualmente por um impactor guiado por guias lineares (Figura 1.2). Para a

realização de um ensaio, o impactor é colocado a uma dada altura, enquanto o componente a testar é colocado num suporte existente na base da máquina. Posteriormente o impactor é libertado, originando um impacto vertical sobre o componente em estudo.

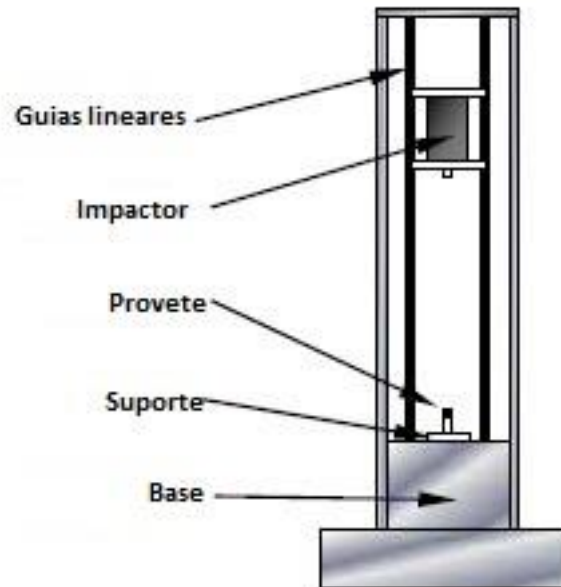


Figura 1.2: Máquina de ensaios de impacto (imagem adaptada de [4]).

1.4 Ensaio de Atrito

Este tipo de testes é utilizado em casos tão distintos como exemplo, pavimentos rodoviários [5] a domésticos [6] sendo no primeiro caso aplicados para avaliar as condições de aderência aos pneumáticos dos veículos, enquanto no segundo, determinar o seu grau de segurança para a utilização por seres humanos.

O equipamento utilizado neste tipo de testes é maioritariamente o pêndulo britânico.

O modo de funcionamento deste dispositivo é relativamente simples (Figura 1.3):

- O pêndulo é colocado a uma altura predefinida (1);
- Depois de libertado estabelece contacto com a superfície a testar, promovendo uma força de atrito (2);
- Após o contacto com a superfície a testar, o pêndulo pára registrando a sua posição de paragem na escala (3).

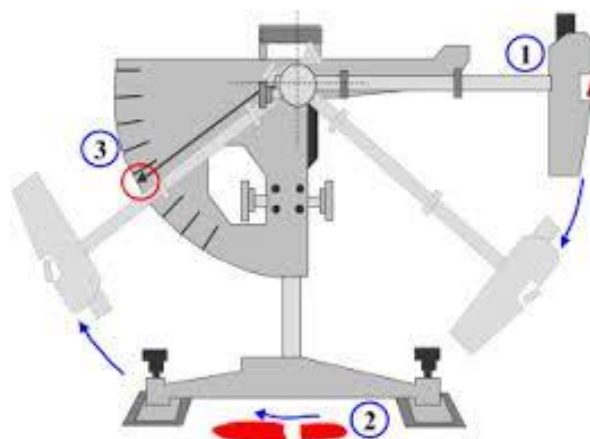


Figura 1.3: Pêndulo britânico [7].

A estabelecer contacto entre o pêndulo e a superfície a testar encontra-se um patim de borracha de dureza 96 IRHD.

1.5 Norma FIG-MAG 1

Na norma FIG-MAG 1 [8], encontram-se as diretiva relativas aos pisos de ginástica artística masculina. Os ensaios de impacto que serão realizados irão seguir os passos por ela descritos.

O impactor a utilizar terá de ter uma massa total de 20 ± 0.2 kg e deve ter uma superfície de impacto plana de 100 ± 5 mm de diâmetro. As extremidades do impactor devem ser chanfradas para precaver eventuais danos causados na superfície do piso.

No momento do impacto com a superfície a testar o impactor tem de possuir uma velocidade de 3.96 ± 0.012 m/s, o que corresponde a uma queda de 800 mm. Entre cada ensaio é necessário aguardar um período de tempo nunca inferior a 120 segundos.

A amostra do piso a testar deverá ter uma dimensão horizontal mínima de 2000×1200 mm. Os pontos do piso onde os impactos devem ser realizados também é estipulado pela norma [8] e encontram-se representados na Figura 1.4.

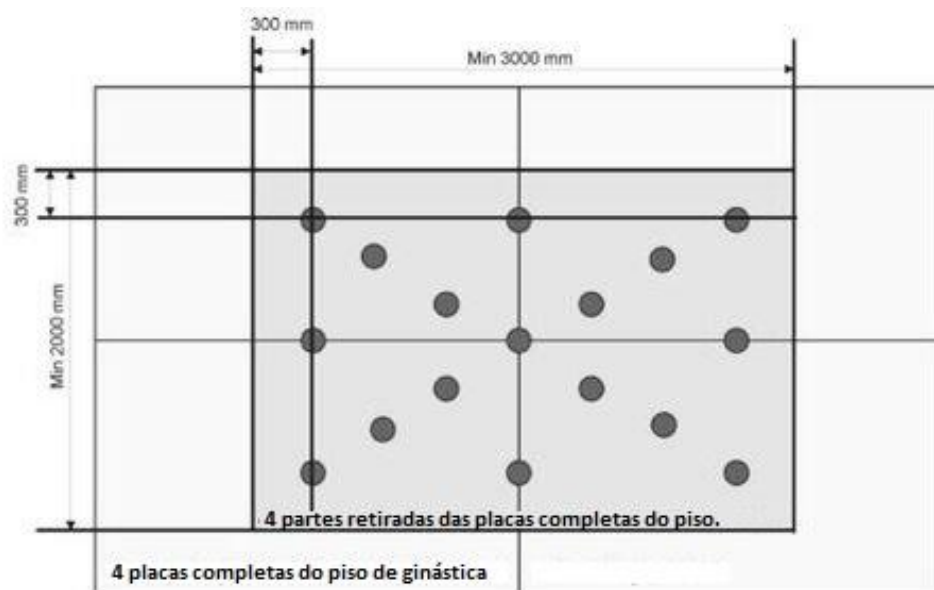


Figura 1.4: Pontos de impacto [8].

Cada ponto receberá dez impactos, perfazendo assim um total de cento e setenta ensaios.

As variáveis a medir são o afundamento, ressalto e força de impacto máxima.

Definido na norma [8] encontra-se também o conceito de plano de referência, afundamento e ressalto, sendo:

- Plano de referência é a superfície do piso de ginástica, cota a partir da qual serão medidos o afundamento e o ressalto;
- Afundamento é a distância máxima percorrida pelo impactor abaixo do plano de referência;
- Ressalto é a altura máxima atingida pelo impactor após o impacto, medida acima do plano de referência.

O procedimento a seguir para efetuar os cálculos finais é ditado pela norma [8], que indica que dos dez ensaios realizados em cada ponto, devem ser utilizados os últimos oito para calcular a média de cada variável medida. O resultado final é obtido fazendo uma média dos valores que foram calculados em cada ponto, arredondada à unidade para cada variável medida.

Para cumprir a norma [8], as variáveis calculadas tem de apresentar valores contidos nos intervalos apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1: Intervalo de tolerância para o valor das variáveis medidas nos ensaios de impacto.

<i>Afundamento</i> (mm)	<i>Ressalto</i> (mm)	<i>Força máxima</i> (mm)
$69.5 \leq x \leq 75$	$245 \leq x \leq 335$	$x \leq 4500$

1.6 Norma FIG-RG 1

Os ensaios de atrito realizados seguiram a norma FIG-RG 1 [9], que diz respeito aos pisos de ginástica rítmica.

Segundo esta norma [9], o deslizador terá de ser fabricado em madeira, possuir uma massa de 9.5 ± 0.285 kg e a geometria e dimensões representadas na Figura 1.5.

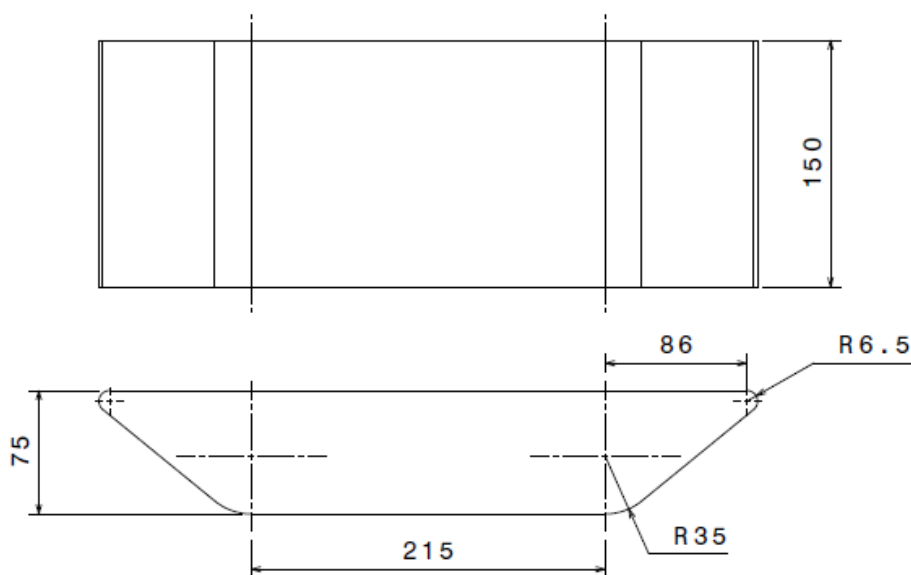


Figura 1.5: Geometria e dimensões do deslizador ou patim.

Na base do deslizador terá de ser colada uma sola de material sintético com uma espessura de 2.6 ± 0.5 mm, que cumpra os requisitos da norma BS EN 12503-6 [10].

É requerido também que um termopar de superfície seja acoplado ao deslizador a uma distância de 160 ± 20 mm da aresta frontal da parte plana inferior do mesmo.

Quanto à realização do ensaio, o deslizador deverá ser puxado e empurrado cinco vezes a uma velocidade constante de 300 ± 9 mm/s sobre 90% da distância de deslizamento que é 600 ± 18 mm. Terão de ser realizados três ensaios, sendo que entre cada um é necessário aguardar pelo menos 300 s.

O procedimento anterior terá posteriormente de ser repetido na direção perpendicular à utilizada nos primeiros três ensaios.

Depois de efetuados os seis ensaios, ter-se-á de calcular a média da força de atrito e aumento de temperatura, a diferença ortogonal da força de atrito e a diferença ortogonal do aumento de temperatura.

Os valores obtidos devem estar compreendidos nos intervalos mostrados na Tabela 1.2.

Tabela 1.2: Intervalo de tolerância para as variáveis medidas nos ensaios de atrito.

<i>Coeficiente de atrito</i>	<i>Aumento de temperatura (°C)</i>	<i>Diferença ortogonal do coeficiente de atrito</i>	<i>Diferença ortogonal do aumento de temperatura (°C)</i>
$0.32 \leq x \leq 0.62$	$x \leq 2.3$	$x \leq 0.08$	$x \leq 0.8$

1.7 Norma BS EN-12503-6

A norma BS EN-12503-6 [10] estabelece os procedimentos a realizar para determinar coeficiente de atrito na superfície dos pisos de desporto. Para a presente dissertação, a única informação relevante retirada desta norma foi a descrição do material sintético de que é feita a sola a aplicar no deslizador da máquina de atrito, uma vez que todo o restante equipamento por ela descrito tem princípios de funcionamento distintos do que se pretende (ver capítulo 1.6).

O material sintético a utilizar é, segundo esta norma [10], uma borracha com um grau de dureza de 96 ± 2 IRHD.

1.8 Norma ISO 48

Esta norma [11] foi estudada de modo a perceber como é realizado um teste para determinação da dureza IRHD de uma borracha.

Segundo a norma ISO 48 [11] os procedimentos a realizar para obter a dureza IRHD de uma borracha diferem de acordo com a gama de dureza em que a mesma se insere. No caso da borracha utilizada na sola do deslizador, o método de ensaio para determinação da dureza seria o método H, que se destina a borrachas de alta dureza.

Para realizar este método é necessário o seguinte equipamento:

- Um indentador esférico com um diâmetro de 1 mm;
- Um pé cilíndrico de 20 mm de diâmetro, com um furo de 6 mm de diâmetro.

O método baseia-se na medição da indentação causada num provete de borracha quando aplicada uma força sobre o indentador e é realizado da seguinte forma:

- O pé cilíndrico é colocado sobre o provete exercendo uma força de 8.3 ± 1.5 N;
- Pelo furo existente no centro do pé cilíndrico é colocado o indentador, o qual estabelece contacto com o provete exercendo uma força inicial de 0.3 ± 0.02 N;
- Uma força de indentação de 5.4 ± 0.01 N é por fim aplicada sobre o indentador durante 30 s.

Após este procedimento, é medida a distância que o indentador penetrou no provete e a partir dessa distância obtém-se a dureza IRHD através de uma tabela de conversão existente na norma [11].

Capítulo 2

2 Piso de ginástica

O presente capítulo tem como finalidade apresentar uma análise morfológica do piso de ginástica que foi alvo de estudo.

Assim sendo, começando por uma breve abordagem aos seus componentes, o praticável de ginástica é composto por (Figura 2.1):

- Molas helicoidais (1);
- Placas de madeira (2);
- Placas de espuma polimérica (3);
- Alcatifa (4).

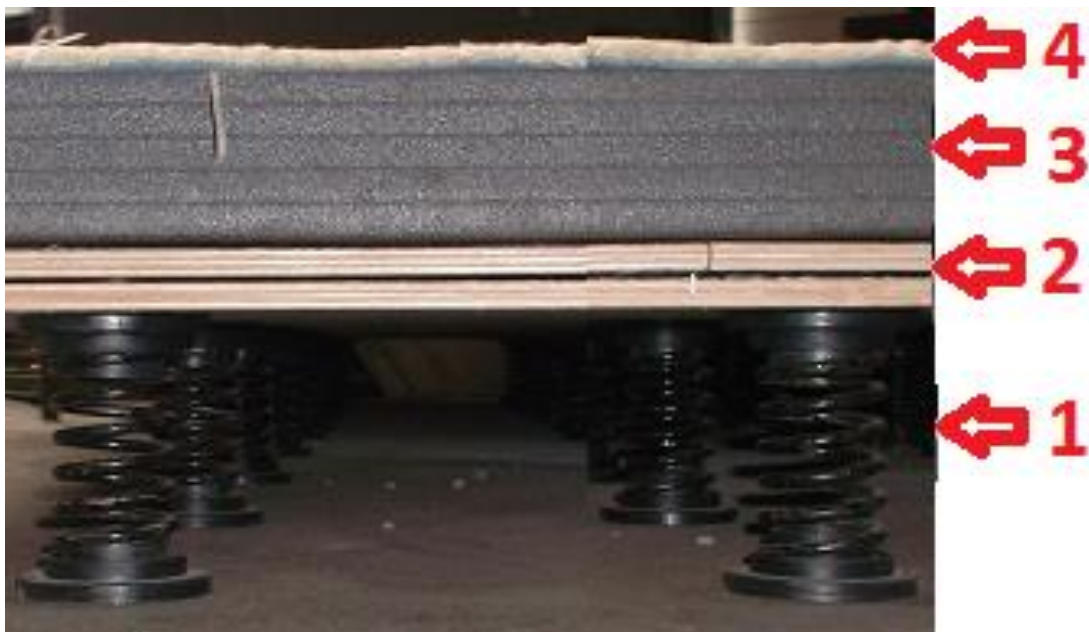


Figura 2.1: Componentes do piso de ginástica

Este praticável é formado por quatro placas de madeira nas quais são aparafusadas as molas helicoidais, sendo estas quatro partes unidas entre si por uma segunda camada de placas de madeira recorrendo a tiras de velcro. Sob a segunda camada de madeira são posteriormente colocadas as placas de espuma polimérica, que por sua vez são ligadas entre

si através de fita-cola. O praticável é completado com a aplicação de uma alcatifa sobre as placas de espuma (Figura 2.2).

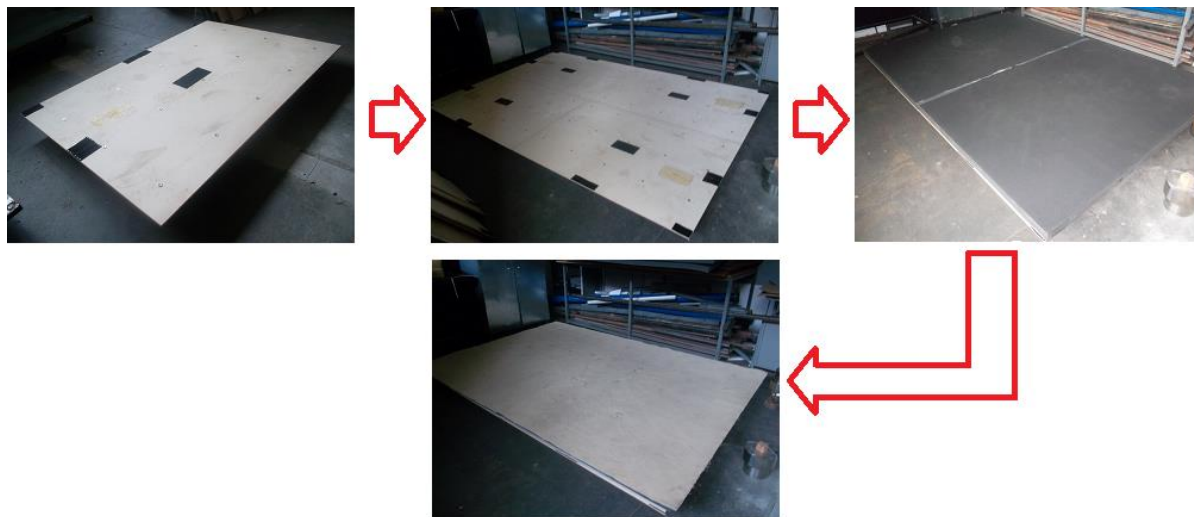


Figura 2.2: Sequência de montagem do piso de ginástica.

Mantendo a mesma estrutura base, foram testados dois tipos diferentes de praticável, uma vez que foram utilizadas duas combinações de placas de espuma polimérica, uma composta por quatro camadas e uma segunda por cinco (Figura 2.3).

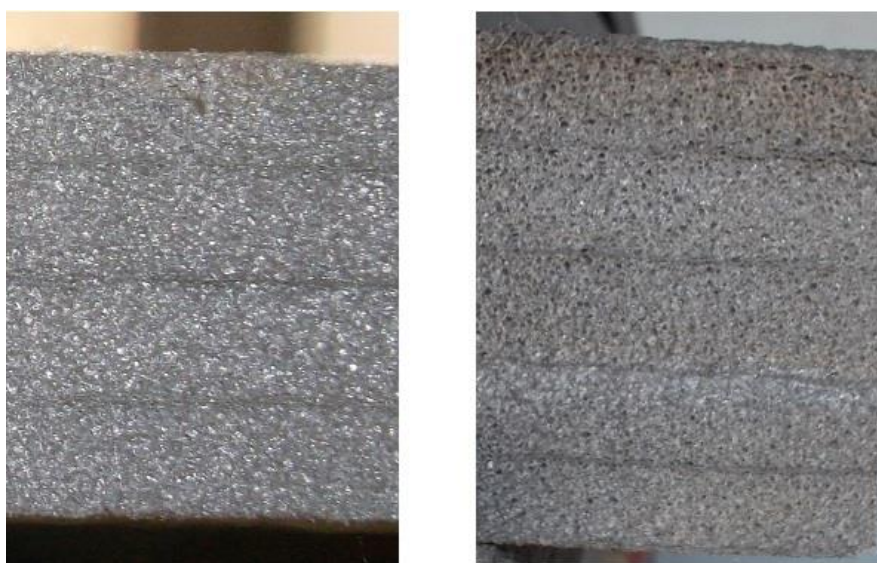


Figura 2.3: Placa de quatro (esquerda) e cinco (direita) camadas.

A Figura 2.4 apresenta a geometria dos pisos de ginástica testados e respetiva posição dos pontos de impacto.

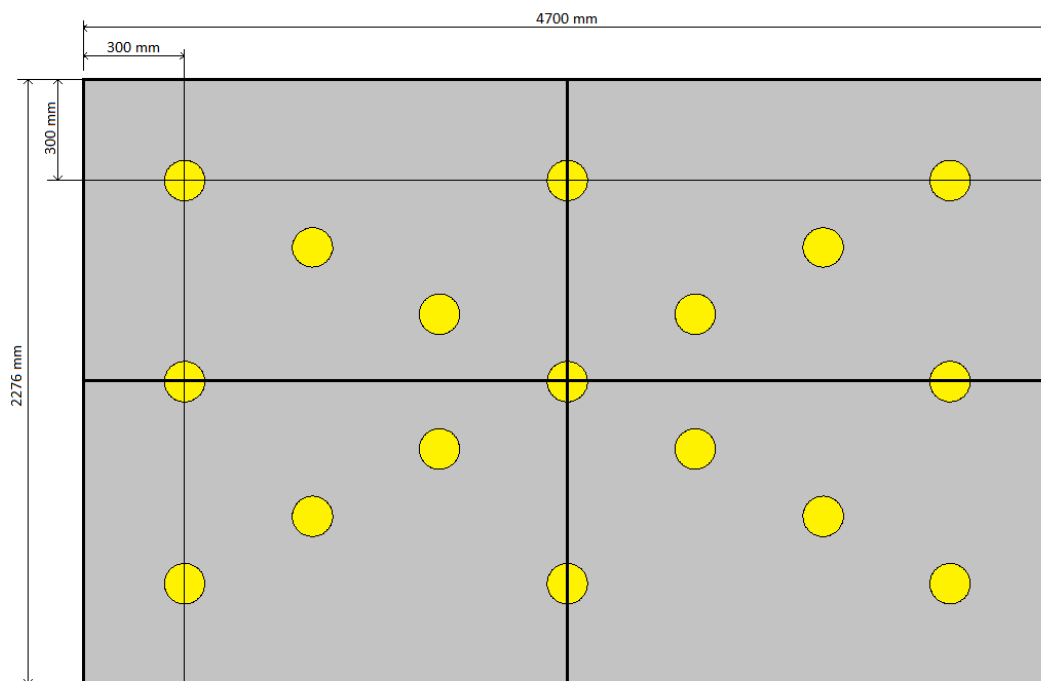


Figura 2.4: Dimensão dos pisos de ginástica testados.

Capítulo 3

3 Máquina de Ensaio de Impacto

Ao longo deste capítulo será descrita a composição da MEI (Figura 3.1) utilizada no decorrer da presente dissertação. A referida máquina aquando do início das atividades deste projeto já se encontrava na oficina do DEM, tendo já sido utilizada em projetos anteriores. O seu projeto sofreu algumas alterações no decorrer do trabalho realizado, mas o seu princípio de funcionamento permaneceu inalterado. Esta é uma máquina de impacto por queda livre, no entanto ao contrário da máquina apresentada na Figura 1.2 na MEI o guiamento é efetuado pelo próprio impactor através de dois rolamentos lineares. Outra característica própria da MEI é o facto de esta contemplar um sistema de aquisição integrado com o impactor que lhe permite recolher dados acerca do seu deslocamento e da força gerada aquando do contacto com a amostra em estudo, neste caso o piso de ginástica.

De seguida será efetuada uma análise mais detalhada aos componentes que a constituem, e que podem ser agrupados em:

- Viga de suporte do impactor;
- Guincho de elevação do impactor;
- Impactor;
- Mecanismo de libertação do impactor;
- Sistema de aquisição de dados.



Figura 3.1: Máquina de ensaios de impacto.

Os desenhos de definição dos componentes fabricados para a MEI encontram-se no Apêndice A.

3.1 Viga de Suporte do Impactor

Este é um dos órgãos vitais da máquina uma vez que é nesta viga (Figura 3.2) que estão montados os rolamentos lineares que guiam o impactor, além de ser também aqui que se encontra montado o sistema de aquisição de dados de posição. A viga de suporte do impactor não sofreu qualquer tipo de alteração uma vez que o seu funcionamento não apresentou problemas. Construída essencialmente à base de um perfil de aço em H a viga de

suporte do impactor encontra-se aparafusada a uma coluna mestra do DEM numa das suas extremidades enquanto na outra estão instalados os rolamentos lineares de guiamento do impactor.

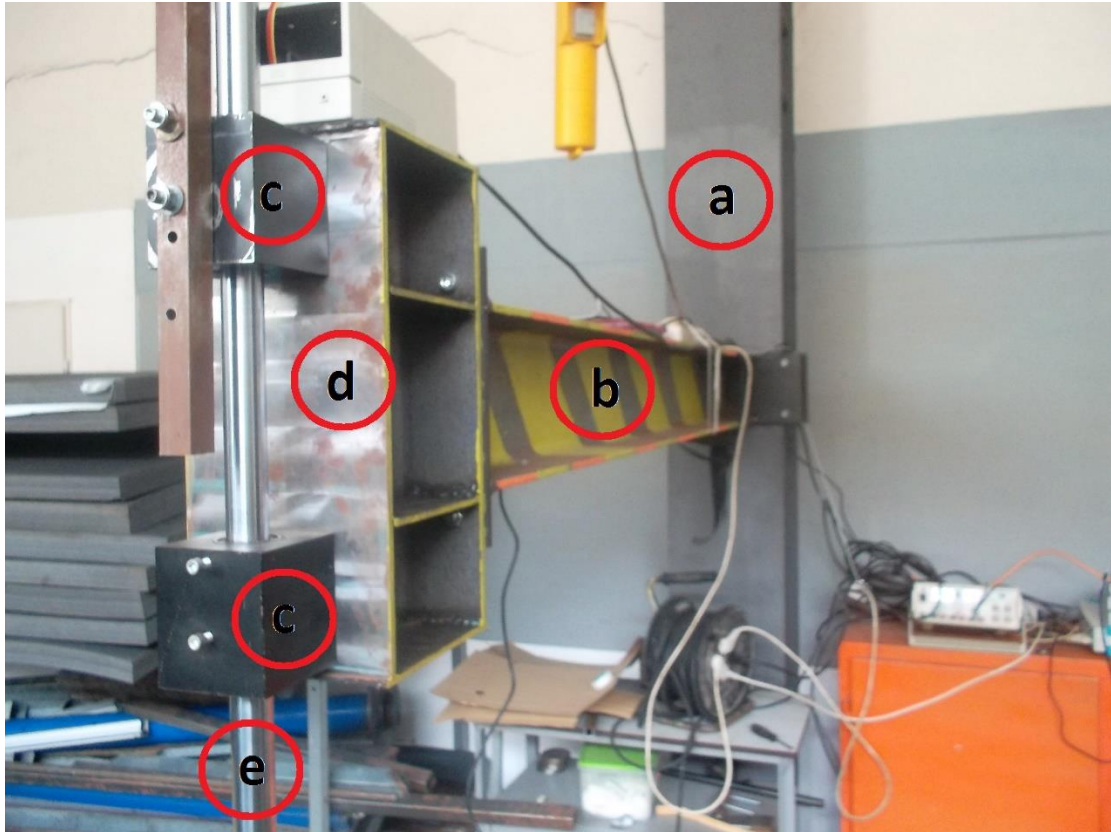


Figura 3.2: Viga de suporte do impactor: (a) pilar do DEM; (b) viga de suporte do impactor; (c) cubo de alojamento do rolamento linear; (d) topo soldado à viga (b); (e) varão corredeira do impactor.

3.2 Guincho de elevação do impactor

O segundo componente da MEI que será analisado é o guincho de suporte do impactor e respetiva viga de suporte (Figura 3.3). Esta viga, tal como o nome indica, tem como função suportar o guincho ao qual está acoplado um cabo de aço, responsável por elevar e posicionar o impactor à altura necessária para realizar um ensaio.

A viga de suporte do motor encontra-se aparafusada ao mesmo pilar do edifício do DEM onde está montada a viga de suporte do impactor, mas a uma altura superior, de modo

a que se possa elevar o impactor até à altura máxima sem que haja qualquer problema de atravancamento.

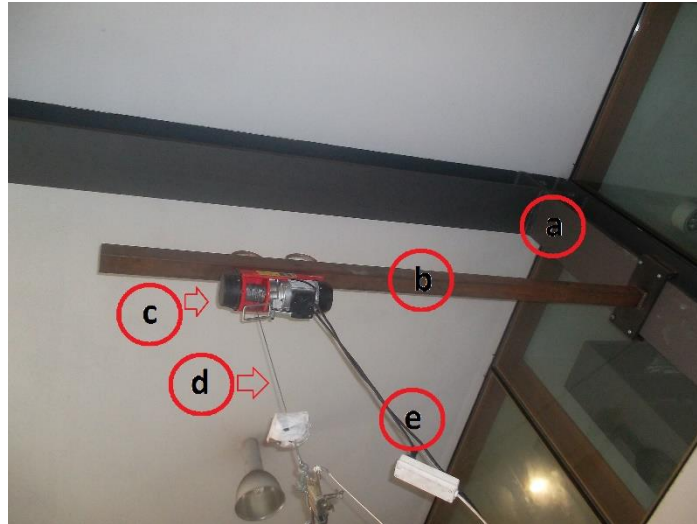


Figura 3.3: Guincho de elevação do impactor: (a) Pilar do Dem; (b) Viga de suporte do guincho; (c) Guincho; (d) Cabo de aço do guincho; (e) Cabo elétrico de alimentação do motor do guincho.

3.3 Impactor

O impactor é o órgão da MEI que estabelece contacto com a superfície a testar. Esta peça é formada na sua zona intermédia por um varão em aço EN S235, com tratamento superficial cromoduro, através do qual é feito o guiamento vertical, instalado no centro dos rolamentos lineares da viga de suporte do impactor e que possui na sua extremidade superior um sistema de amarração através do qual todo o impactor é elevado (Figura 3.4). Além do sistema de amarração, na extremidade superior do varão indicado na Figura 3.2 (e) há ainda uma chapa de alumínio que se destina a apoiar o sistema de aquisição de dados relativos à posição do impactor.

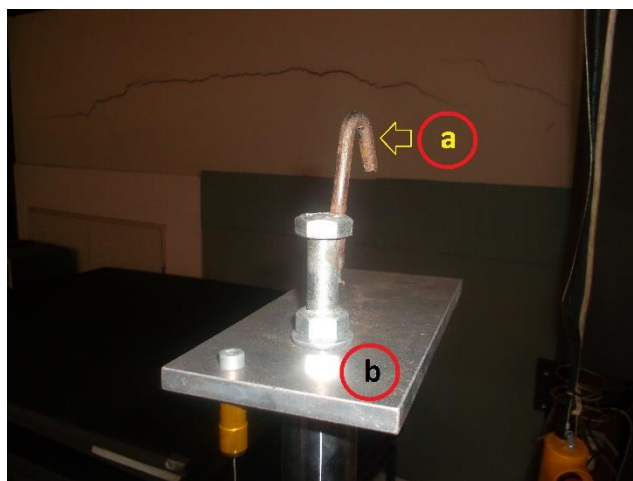


Figura 3.4: Sistema de amarração (a) e chapa de apoio à aquisição de dados (b).

Na extremidade inferior do varão antes referido há um subsistema formado por um cilindro de fixação e dois discos de aço EN S235 entre os quais está instalada uma célula de carga (Figura 3.5). Este subsistema tem como função adicionar peso ao sistema ao mesmo tempo que a célula de carga adquire dados relativos à força gerada aquando do impacto.

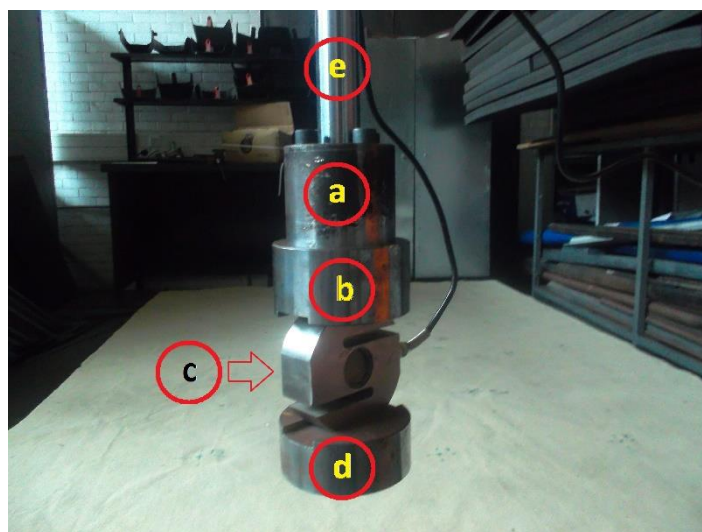


Figura 3.5: Subsistema inferior do impactor: (a) Cilindro de fixação; (b) Disco superior; (c) Célula de carga; (d) Disco inferior; (e) Varão corredeira do impactor.

De modo a cumprir as diretivas impostas pela norma [8], a massa total do impactor é de 20 kg, e o disco inferior que faz contacto com a superfície do piso de ginástica tem um diâmetro de 100 mm.

3.4 Mecanismo de Libertação do Impactor

Ao contrário do que aconteceu com os componentes anteriormente expostos, esta foi uma das áreas da MEI que sofreu alterações. De facto, esta máquina já existia no DEM e havia sido utilizada em projetos anteriores, no entanto o sistema de libertação do impactor apresentava algumas falhas.

Aquando do início dos trabalhos realizados nesta máquina a elevação do impactor era realizada recorrendo a um laço de fio de linho norte colocado entre o gancho de amarração (Figura 3.4) e o olhal presente no cabo de aço do guincho. Quando em posição de ensaio, o fio era cortado com uma tesoura de poda aérea libertando assim o impactor para que este descrevesse o seu movimento de queda livre. O sistema encontrado era simples e o seu funcionamento não surtia problemas, mas revelava-se pouco prático e o maior problema associado era a impossibilidade de a máquina ser operada por apenas um indivíduo, uma vez que era necessário uma pessoa para controlar a aquisição de dados e uma segunda para cortar o fio. Este problema tornava-se grave uma vez que quer por incompatibilidade de horários quer por indisponibilidade temporal, era por vezes difícil ter duas pessoas a realizar ensaios a tempo inteiro. O elevado número de ensaios necessários associado ao pouco tempo disponível obrigaram a que fosse procurada uma solução mais versátil.

Uma das soluções possíveis e que foi pensada seria a utilização de um eletroímã, no entanto o elevado custo e tempo de implementação tornaram este caminho injustificado.

Tendo em conta que se necessitava de uma solução pouco dispendiosa e de rápida instalação, surgiu a ideia de utilizar uma fechadura de uma porta de um automóvel. Este tipo de mecanismo é um sistema de atuação rápida, uma vez que o seu trinco é pré-tensionado por uma mola, o que torna a sua abertura quase instantânea bastando que para isso se aplique apenas um pequeno movimento numa patilha. Além disso a sua implementação era relativamente simples e poucas alterações na MEI seriam necessárias. A ideia foi levada avante e a instalação do sistema (Figura 3.6) resumiu-se a:

- Alterar o gancho de amarração do impactor de modo a que este pudesse ser encaixado no trinco da fechadura (1);
- Instalação de um pequeno cabo de aço para fixar o fecho no gancho do cabo do guincho (2);
- Instalação de um fio de libertação do trinco (3).

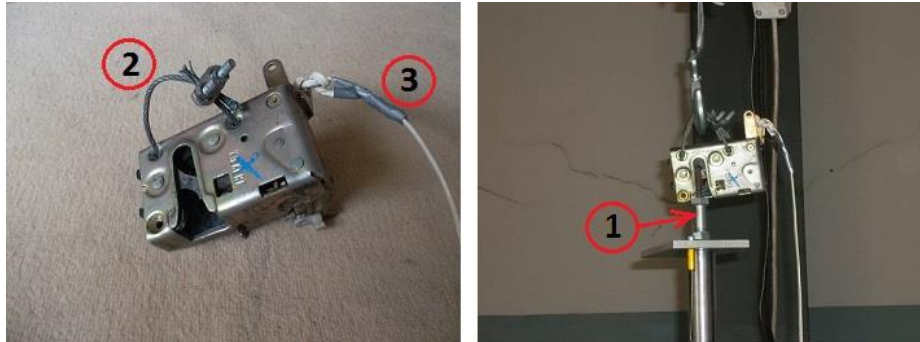


Figura 3.6: Mecanismo de liberação do impactor.

A sequência de funcionamento consiste em:

- 1º - Acionar a botoneira de comando do motor do guincho, no sentido descendente, e engatar o trinco que está na extremidade do cabo de aço no gancho de amarração do impactor;
- 2º - Acionar a mesma botoneira, agora no sentido inverso, e parar quando a base do impactor estiver à cota desejada: 800 mm nestes testes;
- 3º - Puxar o fio de liberação do trinco que permite queda livre do impactor.
- 4º - Repetir a sequência.

Após a instalação o mecanismo foi testado revelando bons resultados, melhorando a manuseabilidade da MEI que assim passou a poder ser operada por uma pessoa apenas, o que promoveu a celeridade na realização de ensaios.

3.5 Sistema de aquisição de dados

No início do presente capítulo foi feita uma introdução onde foi ligeiramente abordada a existência de um sistema de aquisição de dados relativos ao deslocamento do impactor e da força gerada no momento em que este entra em contacto com a superfície a testar, neste caso o piso de ginástica. Na verdade, o sistema de aquisição de dados como um todo é composto por dois subsistemas independentes, um destina-se à aquisição da força e será o primeiro a ser exposto, o outro é responsável pela aquisição do deslocamento.

Começando pela força e tal como em todos os sistemas de aquisição de dados este sistema é composto por sensores (que neste caso é apenas um), *hardware* e *software* de aquisição e medição. Relativamente ao sensor, este aparece sob a forma de uma célula de

carga que se encontra montada no impactor (Figura 3.5 (c)). A célula de carga utilizada possui uma capacidade máxima de 20 kN e nos seus terminais foi instalado um conector RJ 50 fêmea (Figura 3.7) de modo a tornar possível a conexão com a carta de aquisição de dados através de um cabo RJ50 macho/macho.

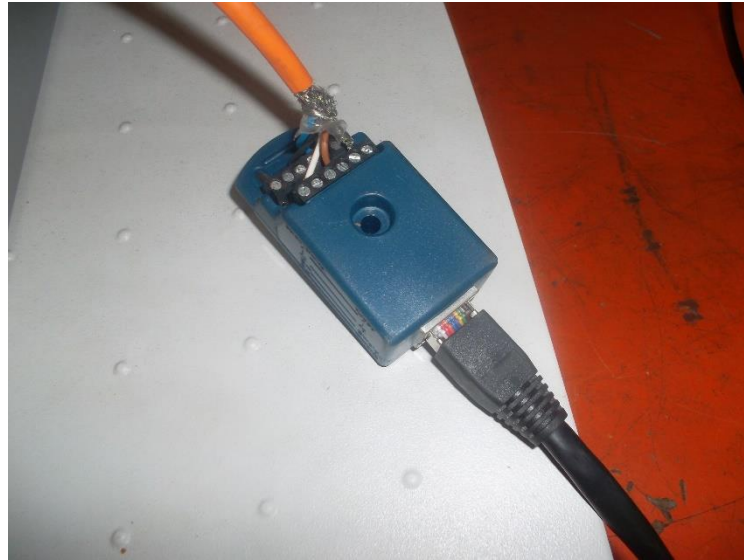


Figura 3.7: Conector RJ50 da célula de carga.

A carta de aquisição responsável por recolher os dados enviados pela célula foi uma NI 9237 instalada num chassis CompactDAQ (Figura 3.8), ambos fabricados pela National Instruments®. De referir que estes equipamentos são muito interessantes, com uma vasta gama de *inputs*, uma arquitetura compacta e robusta e uma capacidade de aquisição muito elevada.

As Tabela 3.1 e 3.2 apresentam as características principais do chassis e carta, respetivamente.

Tabela 3.1: Características principais do chassis NI cDAQ-9178 [12].

Peso	900 g
Dimensões	254.0 mm × 88.1 mm × 58.9 mm
Tensão de alimentação	24 v cc
Conectividade com computador	USB
Número de cartas de aquisição permitidas	8
Tipo de cartas de aquisição suportadas	Cartas da série C (Temperatura, resistência, sensores baseados em ponte, tensão, acelerômetro e microfone, digital, corrente, CAN, LIN, temporização e sincronização).

Tabela 3.2: Características principais da carta NI 9237 [12].

Número de canais disponíveis	4 canais analógicos
Tipo de sensores compatíveis	Meia ponte e ponte completa.
Conectividade com sensores	RJ50
Frequência	12.8 MHz
Amostragem máxima	50000 amostras/s
Voltagem de excitação	2.5, 3.3, 5 ou 10 v



Figura 3.8: Carta de aquisição NI 9237 e chassis CompactDAQ.

Os dados recolhidos são por fim enviados através da interface USB do CompactDAQ para o computador, onde uma aplicação desenvolvida em LabVIEW permite a visualização em tempo real da informação adquirida ao mesmo tempo que a grava em disco. A aplicação LabVIEW utilizada na MEI foi desenvolvida em trabalho anterior [13] não tendo sofrido qualquer tipo de alterações e tem as seguintes funcionalidades principais (Figura 3.9):

- Área de monitorização em tempo real (1);
- Botão de início de ciclo e gravação de dados (2);
- Botão de término de ciclo e gravação de dados (3);
- Botão de interrupção de leitura da célula de carga (4);
- Caixa de escolha da porta onde a célula se encontra conectada (5);
- Caixa de texto para especificar nome e local de gravação do ficheiro de dados (6).

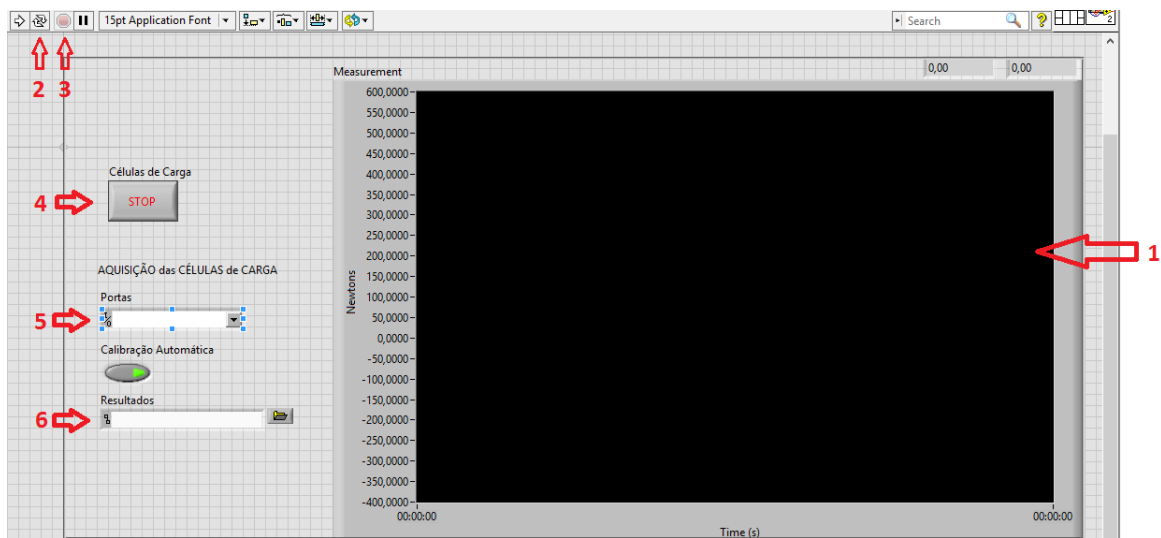


Figura 3.9: Aplicação LabVIEW para leitura da célula de carga.

Contrariamente ao que aconteceu com o sistema de aquisição da força, que foi utilizado sem sofrer alterações relativamente ao que já existia, o do posicionamento do impactor foi completamente modificado.

O sistema de aquisição de dados de deslocamento do impactor existente na MEI era uma solução deveras interessante. Com um tamanho muito compacto, todo o sistema se

encontrava confinado numa pequena caixa (Figura 3.10) onde coexistiam tanto o sensor como todo o restante *hardware* de aquisição de dados.



Figura 3.10: Sistema de aquisição de posição antigo (à esquerda vista do exterior, à direita vista do interior).

Este sistema recorria à tecnologia de ultrassons para determinar a que distância o impactor se encontrava num dado instante. Era composto por um sensor ultrassons HC-SR04 conectado a uma placa Arduino Mega.

A grande vantagem deste sistema era o facto de não haver qualquer tipo de ligação física entre o sistema de aquisição de dados e o impactor, visto que as grandes acelerações sofridas por este último durante um ensaio tornam a implementação de equipamentos de medição mecânicos bastante limitada. De facto, em teoria a tecnologia ultrassons seria perfeita para o que se pretendia, no entanto os resultados obtidos por este meio revelaram-se inutilizáveis devido à quantidade de ruído que apresentavam. Numa fase inicial foram realizadas algumas intervenções com o objetivo de melhorar a qualidade dos dados obtidos:

- As fixações dos componentes foram melhoradas com o intuito de reduzir eventuais vibrações;
- A caixa foi modificada para que a placa Arduino Mega fosse montada de modo a que houvesse um melhor isolamento entre ambos;
- O programa Arduino foi modificado e substituído testando bibliotecas de funções diferentes [14];

- A chapa de aquisição de dados do impactor (Figura 3.4) foi substituída por uma outra chapa de acabamento superficial melhorado.

Apesar dos trabalhos realizados os dados obtidos continuaram a revelar-se fracos. Na Figura 3.11 são apresentados os resultados obtidos pelo sensor ultrassons para um ensaio, onde se pode observar:

- Elevado ruído numa das zonas mais relevantes do ensaio (zona ampliada do gráfico), uma vez que é aqui que se regista o afundamento máximo;
- Baixa taxa de aquisição, recolhendo apenas cento e vinte amostras por segundo.

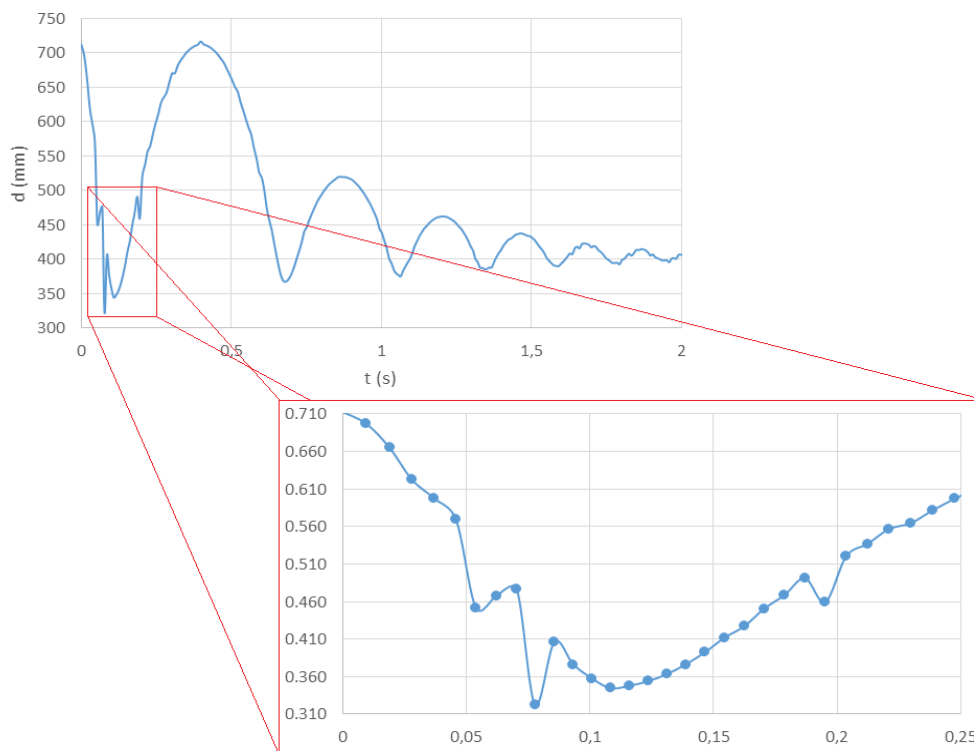


Figura 3.11: Resultados obtidos através do sensor ultrassons.

A fraca fiabilidade dos resultados obtidos conduziu à conclusão que a causa do provável do problema seria a qualidade do sensor de ultrassons utilizado e uma vez que as

alternativas com precisões razoáveis existentes no mercado se mostraram excessivamente dispendiosas, este caminho foi abandonado dando lugar a um novo dispositivo de medição, um *encoder* de fio RLX50a da marca Roundss® (Figura 3.12).



Figura 3.12: *Encoder* de fio [15].

Um *encoder* de fio é no fundo um potenciômetro de alta precisão acoplado a uma bobina de um fio de aço, o qual recolhe automaticamente, mediante o acionamento por uma mola, quando largado. À medida que o fio é puxado ou recolhido o potenciômetro varia a sua resistência, o que causa uma variação na tensão que por ele passa tornando possível a conversão desta diferença de tensão em distância percorrida. O *encoder* utilizado é capaz de medir distâncias até 1000 mm, com uma precisão que o fabricante afirma tender para o infinito [16].

A Tabela 3.3 apresenta as principais características do *encoder* RLX50A.

Tabela 3.3: Características principais do *encoder* RLX50A.

Intervalo de medição	0-1000 mm
Resolução	Teoricamente Infinita
Tensão de saída	0-10 v cc
Tensão de alimentação	24 v cc

Aquando do desenvolvimento da MEI a implementação do *encoder* não estava prevista, pelo que a sua montagem não foi direta, tendo sido necessário idealizar e construir um sistema de montagem.

Foi fabricado um suporte (Figura 3.13) e posteriormente montado na MEI recorrendo aos parafusos existentes na caixa do rolamento linear superior.

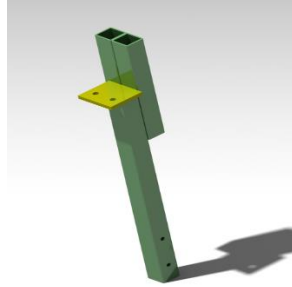


Figura 3.13: Suporte do *encoder*.

Tendo sido criada a base para montagem do *encoder* foi necessário alterar a chapa de suporte à aquisição de dados (Figura 3.4) para que o fio do *encoder* pudesse ser nela aparafusado, o que levou a que um furo fosse maquinado naquela zona. Recorrendo apenas a estas duas alterações foi possível instalar o *encoder* na MEI (Figura 3.14).

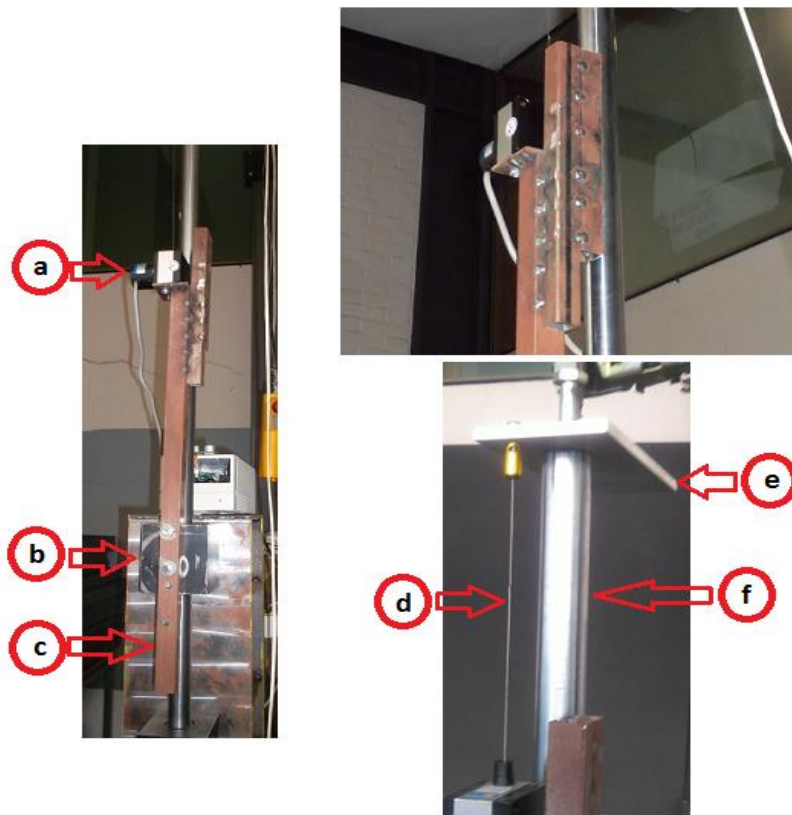


Figura 3.14: Montagem do *encoder*: (a) *Encoder*; (b) Cubo de alojamento do rolamento linear; (c) Suporte do *encoder*; (d) Fio do *encoder*; (e) Chapa de apoio à aquisição de dados; (f) Varão corredeira do impactor.

Foi utilizada uma fonte de alimentação Escort EPS-3250 (Figura 3.15) para alimentar o encoder com a tensão requerida de 24 V cc.



Figura 3.15: Fonte de alimentação.

A Tabela 3.4 apresenta as características da fonte de alimentação indicada

Tabela 3.4: Principais características da fonte de alimentação Escort EPS-3250.

Tensão de alimentação	220 V ca
Número de canais de saída	2 reguláveis + 1 fixo
Tensão de saída dos canais reguláveis	0-25 V cc
Intensidade de corrente de saída dos canais reguláveis	0-0.6 A
Tensão de saída do canal fixo	5 V cc
Intensidade de corrente de saída do canal fixo	2 A

De acordo com o fabricante, o *encoder* utilizado fornece uma tensão de saída variável entre 0 e 10 V cc quando alimentado a 24 V cc. Para efetuar a aquisição deste tipo de dados recorreu-se a um dispositivo Spider 8 da HBM®(Figura 3.16).



Figura 3.16: Spider 8.

Este equipamento de medição é dotado de sete cartas de aquisição, das quais duas apresentam a possibilidade de leitura de tensões de corrente contínua entre 0 e 10 V [17].

A Tabela 3.5 apresenta as principais características do aparelho Spider 8.

Tabela 3.5: Características principais do dispositivo Spider 8.

Cartas de aquisição instaladas	2 x SR55 2 x TF/NF 2 x TF
Sensores passíveis de serem lidos através das cartas instaladas	Ponte completa; Meia Ponte; Corrente contínua de 0 a 10 V Frequência
Taxa de aquisição	Até 9600 amostras por segundo
Filtros digitais disponíveis	Butterworth Bessel
Conectividade com computador	Porta série Rs232 Porta paralela LPT
Taxa de transferência	Até 38400 bits por segundo

Depois de montado o *encoder* na MEI e de escolhidos os equipamentos de alimentação e leitura, foram estabelecidas as ligações elétricas entre os componentes do sistema (Figura 3.17).



Figura 3.17: Ligações elétricas.

A visualização e gravação dos dados adquiridos pelo sistema anterior ficou a cargo do *software* Catman 4.5 (Figura 3.18), que assim completou o sistema de aquisição de dados relativos ao deslocamento do impactor.

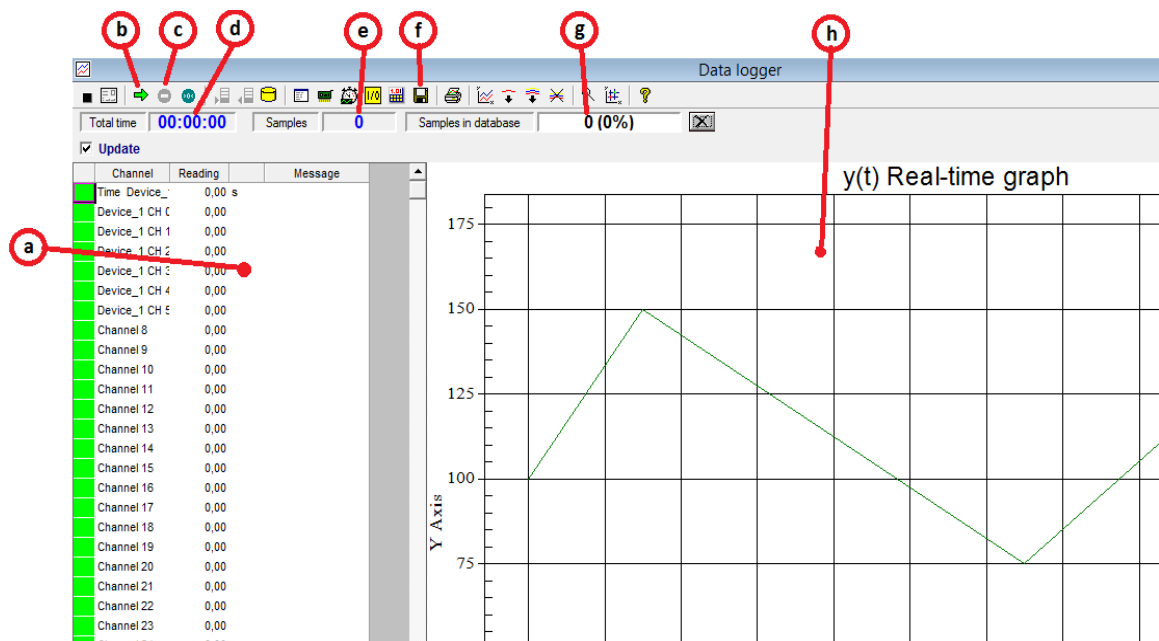


Figura 3.18: Módulo de aquisição de dados do *software* Catman 4.5: (a) Visualização de cada canal de entrada em tempo real; (b) Botão de início de aquisição de dados; (c) Botão de cessação da aquisição de dados; (d) Tempo decorrido desde o início da aquisição de dados; (e) Número de amostras recolhidas; (f) Botão de gravação em disco dos dados adquiridos; (g) Número de amostras na base de dados; (g) Janela de visualização de gráfico em tempo real dos dados obtidos.

O manual de funcionamento do *software* Catman 4.5 encontra-se no Apêndice B.

Capítulo 4

4 Máquina de Ensaio de Atrito

O trabalho realizado durante a presente dissertação também se focou no desenvolvimento da MEA (Figura 4.1) que será de seguida analisada.



Figura 4.1: Máquina de ensaios de atrito.

O projeto inicial desta máquina foi realizado por alunos da unidade curricular de Tecnologia dos Processos de Ligação (TPL), tendo os mesmos encetado a construção da mesma, no entanto a escassez de tempo ditou que tivessem sido forçados a abandonar o projeto muito antes de terminado. Quando o tema desta dissertação foi proposto, a MEA existente foi encontrada numa fase muito embrionária de desenvolvimento, estando apenas construída a estrutura base e montada sobre ela a correia de transporte do deslizador (Figura 4.2).

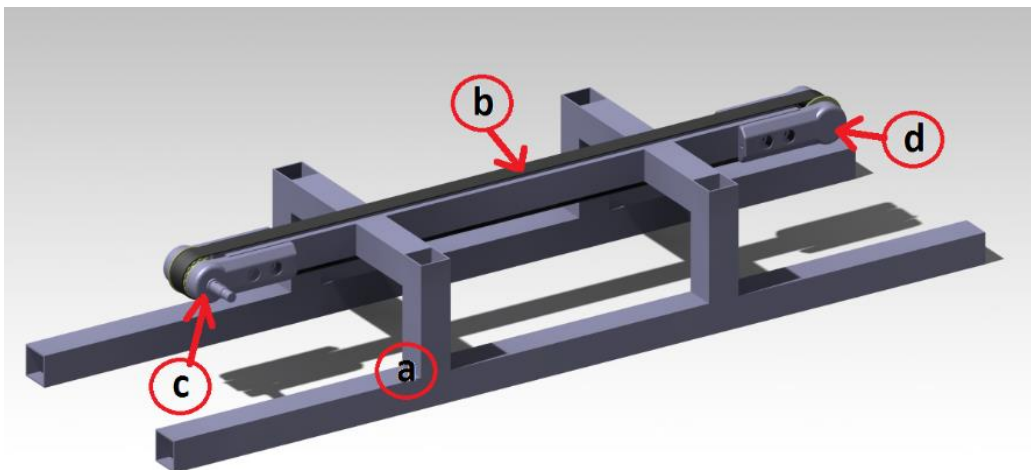


Figura 4.2: Estrutura e correia de transporte da máquina de ensaios de atrito: (a) Estrutura de suporte; (b) Correia transportadora; (c) Bloco de rolamentos da polia do veio motor; (d) Bloco de rolamentos da polia do veio livre.

O modo de funcionamento desta máquina é relativamente simples, um deslizador acoplado à correia de transporte é puxado e empurrado por esta ao longo de uma determinada distância sobre a superfície a testar, sendo recolhidos dados durante a trajetória descrita relativos à força de atrito e variação de temperatura no material em teste. Seguidamente é feita uma análise detalhada aos componentes da máquina e à sua construção.

Os desenhos de definição dos componentes fabricados para a MEA podem ser consultados no Apêndice C.

4.1 Estrutura de Suporte

A estrutura de suporte da máquina, tal como referido anteriormente, estava já parcialmente montada aquando do início do trabalho desenvolvido, no entanto padecia de falta de rigidez, uma vez que as soldaduras se mostravam bastante frágeis, tendo todas elas sido revistas e soldadas novamente. Toda a estrutura tinha sido construída em tubo de secção quadrada de 40×40 mm e estava desprovida de qualquer apoio para montagem do motor que seria necessário instalar. De modo a dar os trabalhos efetuados na estrutura como terminados, foram construídos dois apoios para a base do motor, bem como dois afinadores com a finalidade regular a pré-tensão aplicada na correia de transporte. Estes elementos foram fabricados em aço EN S235 e seriam fixados na estrutura através de soldadura.

Com os trabalhos realizados, a estrutura tomou a sua forma definitiva (Figura 4.3), não tendo sido necessária qualquer outra alteração.

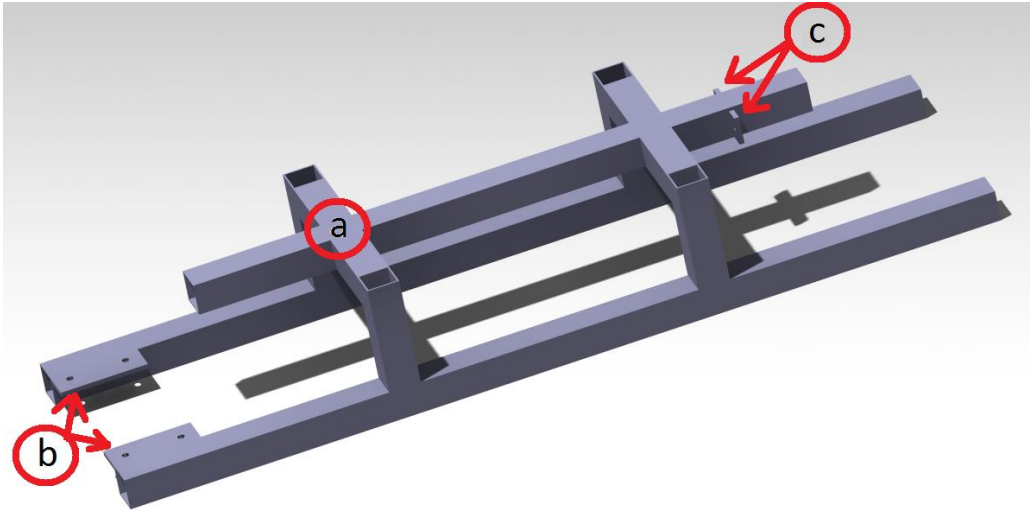


Figura 4.3: Estrutura completa: (a) Estrutura inicial; (b) Apoios do motor; (c) Afinadores da correia de transporte.

4.2 Sistema de transporte do deslizador

O sistema de transporte do deslizador formado por uma correia dentada, duas polias de diâmetro primitivo 50 mm e um suporte para aperto do deslizador já havia sido montado na estrutura da MEA pelos alunos da unidade curricular de TPL e permaneceu praticamente inalterado, exceção feita às seguintes modificações:

- Adição de sistema de controlo da pré-tensão da correia de transporte (Figura 4.4);
- Construção e montagem de um novo veio para uma das polias de modo a ser possível a transmissão de movimento do motor para a correia de transporte;
- Construção e montagem de um novo suporte para aperto do deslizador de menores dimensões, uma vez que o existente era inutilizável devido ao facto de o projeto inicial da máquina ter sido realizado atendendo a um deslizador de altura significativamente inferior à requerida pela norma.

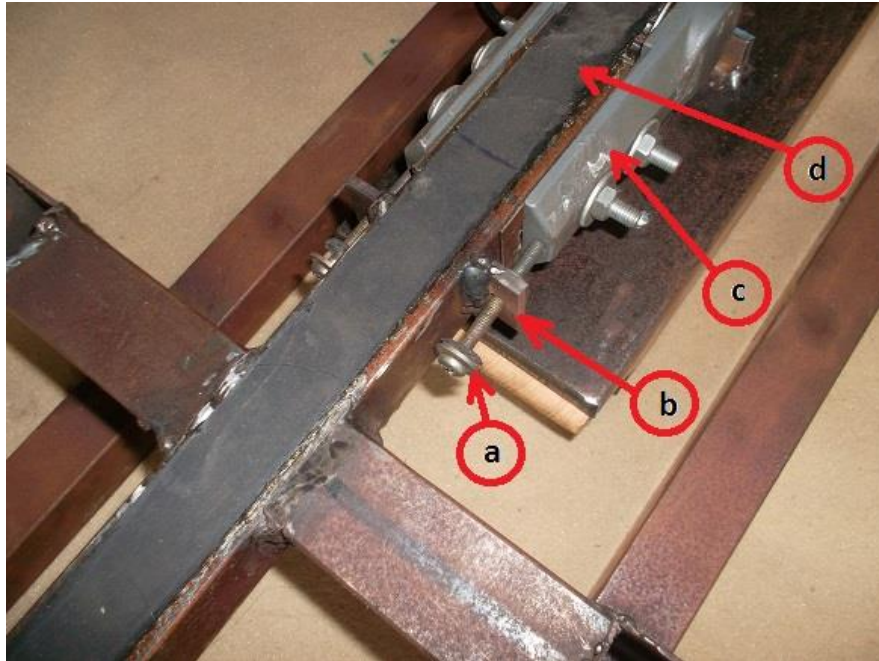


Figura 4.4: Mecanismo de regulação da pré-tensão da correia de transporte: (a) Parafuso esticador; (b) Chapas afinação; (c) Bloco de rolamentos da polia do veio livre; (d) Correia transportadora.

4.3 Base e apoio do motor

Dadas as características da máquina em desenvolvimento, o apoio do motor não pôde ser soldado na estrutura, pois isso impediria a troca da correia de transporte no caso de ser necessário.

De modo a contornar esta situação, foi criado um sistema de fixação do motor composto por duas partes (Figura 4.5):

- Um apoio onde o motor é aparafusado (1);
- Uma base que é aparafusada à estrutura através dos apoios que previamente nela foram soldados (2).

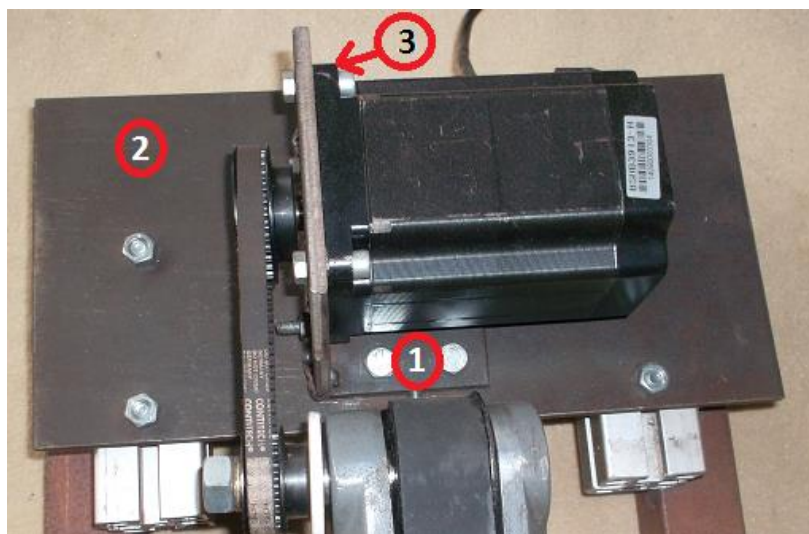


Figura 4.5: Base e apoio do motor.

A base é portanto o elo de ligação entre a estrutura e o apoio do motor. Nela foram maquinados quatro furos para fixação à estrutura através de ligações aparafusadas e quatro rasgos com a finalidade de o apoio do motor poder deslizar sobre ela de modo a corrigir desalinhamentos e permitir o tensionamento da correia de acionamento.

Construído a partir de duas chapas soldadas em “L”, o apoio do motor é aparafusado nas ranhuras existentes na base, ao mesmo tempo que suporta o peso do motor que nele se encontra montado através de quatro parafusos que fixam a sua flange frontal (Figura 4.5 (3)).

4.4 Motor e Equipamento de Controlo

Na MEA era necessário instalar um motor que permitisse um controlo exato da velocidade e distância percorrida pelo deslizador sendo indicado para esta situação a utilização de um motor passo-a-passo. Este tipo de motores geram movimento mecânico através da receção de impulsos digitais e como o ângulo de rotação é proporcional à quantidade de impulsos recebidos o seu controlo torna-se relativamente simples. Outra característica importante deste tipo de motores é o seu elevado binário de arranque, que será necessário para vencer o atrito existente entre a base do deslizador e a superfície a testar. Naturalmente, é sabido que o controlo do motor em malha aberta é passível de perda de passos e consequentemente, alguma imprecisão de posicionamento. No entanto, dado o

grande binário do motor e o erro associado a uma perda de passos ser da ordem das centésimas de milímetro, julgou-se desnecessário utilizar qualquer régua ou meio de controlo em malha fechada.

O motor escolhido para promover o movimento da correia de transporte foi um motor BSHB3913 H (Figura 4.6), cujas características principais se encontram na Tabela 4.1.

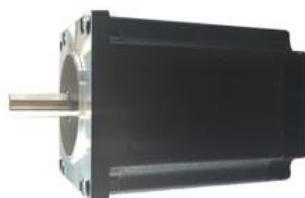


Figura 4.6: Motor BSHB3913 H [16].

Tabela 4.1: Principais características do motor BSHB3913 H [16].

Tipo de motor	Passo-a-passo
Precisão de passo	5%
Ângulo de passo	1.2 °
Binário de arranque	6 Nm
Alimentação	24 V cc, 5A

Para controlar o motor foi utilizada uma torre de comando (Figura 4.7) existente no DEM, composta por uma placa Arduino Uno e um *driver* DM3722M da marca Shenzhen Baishan Mechatronics.

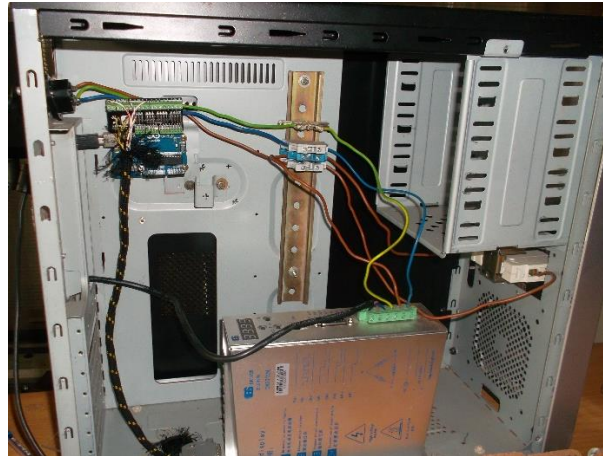


Figura 4.7: Torre de comando.

A placa Arduino Uno é responsável pela geração dos impulsos elétricos que são utilizados para controlo do movimento, no entanto as suas saídas digitais não fornecem a intensidade de corrente e tensão necessárias para promover o acionamento do motor. Assim sendo, ao invés de enviados diretamente para o motor, os impulsos gerados são enviados para o *driver* DM3722M que se encarrega de fornecer o motor com a intensidade de corrente e tensão que este requer. O funcionamento da torre de comando é então ordenado da seguinte forma:

- A placa Arduino Uno gera impulsos e um sinal de direção de movimento que são enviados para o *driver*. As características principais do Arduino Uno são indicadas na Tabela 4.2.
- O *driver* DM3722M recebe os impulsos provenientes do Arduino Uno e transmite-os para o motor de acordo com o sinal de direção recebido, de forma que este rode no sentido horário ou anti-horário. A Tabela 4.3 apresenta as características principais do *driver*.

Tabela 4.2: Principais características do Arduino Uno.

Microcontrolador	ATmega239P
Alimentação	7 a 12 V cc
Entradas/Saídas digitais	14
Entradas Analógicas	6
Memória <i>Flash</i>	32 kB
EEPROM	1 kB
Frequência do cristal (<i>clock speed</i>)	16 MHz

Tabela 4.3: Características principais do *driver* DM3722M.

Voltagem de saída	5 a 24 V cc
Micro-passos possíveis	Programável até 42 tipos de micro-passos.
Resolução máxima	60000 micro-passos
Corrente de saída	Programável, 1.2 a 7 A
Alimentação	90 a 250 V ca

Sendo o Arduino Uno uma placa programável, foi necessário desenvolver um programa para reger o movimento do motor. Para isso começou-se por programar o *driver* de modo a que o motor passo-a-passo descrevesse uma rotação a cada 8000 impulsos gerados pelo Arduino Uno. Sabendo que o movimento do deslizador é realizado a partir da correia transportadora e que a distância percorrida por cada rotação é igual ao perímetro do conjunto correia transportadora/polia (diâmetro de 52 mm), veio:

- Distância Percorrida = $\pi * 52$ (e 4.1).

Como a distância a percorrer é 600 mm, determinou-se que seriam necessárias 3.67 rot da polia da correia transportadora para cumprir a trajetória requerida. Seguidamente foi necessário calcular o número de rotações a realizar pelo motor de modo a obter o deslocamento pretendido na correia transportadora:

- $n_1 = u \times n_2$ (e 4.2).

Na equação anterior:

- n_1 é o número de rotações a efetuar pelo motor;
- n_2 é o número de rotações a efetuar pela polia da correia transportadora;
- $u = 1:1.45$ é a relação de transmissão utilizada na transferência de potência do motor para a correia transportadora.

Finalmente, sabendo que o motor realiza uma rotação a cada 8000 impulsos gerados pelo Arduino Uno, foi obtido o número de impulsos necessários para que o deslizador percorresse 600 mm de:

- $Número\ impulsos = 8000 * n_1$ (e 4.3).

De modo a reduzir os esforços impostos no motor aquando da mudança do sentido de rotação, foram incluídas no programa do Arduino rampas de aceleração e desaceleração com o intuito de suavizar o movimento. Apesar da inclusão das referidas rampas, foi levada em conta a condição imposta pela norma [9] de realizar um movimento constante a uma velocidade de 300 mm/s sobre 90% da distância de deslizamento, pelo que a aceleração e desaceleração foram programadas de forma a serem cumpridas em 10% da distância a percorrer (2018 impulsos).

O programa Arduino desenvolvido encontra-se transcrito no Apêndice D.

4.5 Transmissão de Potência para a Correia de Transporte

A transmissão da potência gerada pelo motor para a correia de transporte é efetuada recorrendo a um sistema de transmissão por correia dentada (Figura 4.8).



Figura 4.8: Transmissão de potência por correia dentada.

Para isso, foram previamente adquiridas duas polias e uma correia dentada com as características apresentadas na Tabela 4.4. Nas polias adquiridas foram abertos furos e escatéis para chaveta paralela de modo a que estas pudessem ser montadas. Dado que o veio de saída do motor já se encontrava dotado de uma chaveta paralela não foi necessário executar nenhuma alteração no mesmo, tendo a polia aplicação direta depois de maquinado o furo.

A montagem da segunda polia não foi direta e teve de ser maquinado um novo veio devido ao facto de o veio existente ter uma configuração incorreta para o fim pretendido, uma vez que além de não permitir a abertura de rosca para fixação da polia também não possuía nenhum elemento de bloqueio que o impedisse de a qualquer momento se separar do resto da máquina arruinando o seu funcionamento.

Tabela 4.4: Características principais da correia e polias utilizadas.

Polia motor	<ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro primitivo: 50.93 mm • Passo: 5mm • Largura: 9 mm • Número de dentes: 32
Polia mandada	<ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro primitivo: 35.01 mm • Passo: 5mm • Largura: 9 mm • Número de dentes: 22
Correia	<ul style="list-style-type: none"> • Comprimento primitivo: 350 mm • Largura: 9 mm • Número de dentes: 70

Sabendo que parte do bom funcionamento de um sistema de transmissão por correia depende da tensão que lhe é aplicada, foi construído um mecanismo de afinação (Figura 4.9). Simple e eficaz este mecanismo consiste numa chapa (soldada à base do apoio do motor) dotada de um furo roscado onde se encontra instalado um parafuso que empurra o apoio do motor, que graças aos rasgos existentes na sua base se desloca, esticando assim a correia. Depois de aplicada a tensão necessária na correia, o apoio do motor (Figura 4.9 (b)) foi fixo à base através de quatro parafusos (Figura 4.9 (c)).

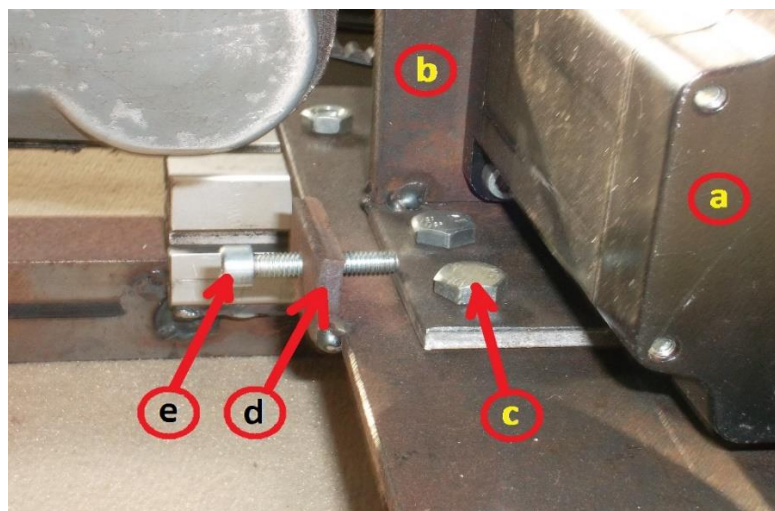


Figura 4.9: Mecanismo de afinação da pré-tensão da correia de acionamento: (a) Motor; (b) Apoio do motor; (c) Parafusos de fixação; (d) Chapa de afinação; (e) Parafuso esticador.

4.6 Deslizador

O deslizador (Figura 4.10) é a peça da MEA que proporciona o contacto com a superfície a testar.

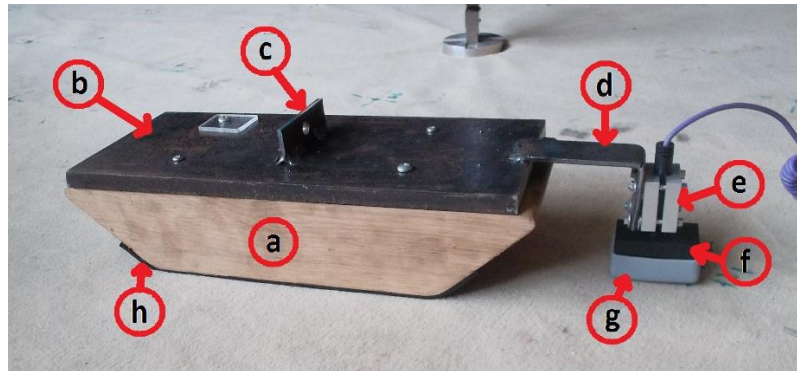


Figura 4.10: Deslizador da máquina de ensaios de atrito: (a) Deslizador de madeira; (b) Chapa de adição de peso; (c) Suporte do deslizador; (d) Suporte do termopar de superfície; (e) Abraçadeira de fixação do termopar; (f) Termopar de superfície; (g) Capa protetora do filamento do termopar; (h) Sola do deslizador.

Todo o seu desenvolvimento seguiu as diretivas presentes na norma FIG RG 1 [9], que especifica não só as dimensões como os materiais a utilizar e o peso total que deve ser de 9.5 ± 0.285 kg. Segundo a referida norma, o deslizador tem de ser construído em madeira e forrado com uma sola de material sintético que cumpra a norma BS EN 12503-6 [10]. O material sintético necessário seria portanto uma borracha vulcanizada de dureza 96 ± 2 IRHD. A aquisição deste tipo de borracha tornou-se uma tarefa quase impossível, pois este é um material muito específico utilizado principalmente nos pêndulos de fricção, sendo que os únicos vendedores encontrados ([19], [20]) tinham apenas disponível deslizadores (Figura 4.11) compostos por um suporte de alumínio no qual a borracha se encontrava colada. Além disso, a área máxima destes deslizadores era muito inferior ao que se necessitava.



Figura 4.11: Deslizadores de borracha 96 para pêndulo de fricção [20].

Um outro problema associado era o facto de todos os vendedores de borracha a nível nacional utilizarem para caracterizar a dureza das suas borrachas a escala Shore A que não é comparável à escala IRHD. Após analisada a situação foi decidido adquirir uma amostra da borracha que apresentava maior grau de dureza Shore A que se conseguiu encontrar (90 ± 2 Shore A) e realizar testes para determinar qual a sua dureza na escala IRHD.

Para isso, foi seguida a norma ISO 48 [11] na qual são especificadas as técnicas utilizadas para determinar o grau de dureza IRHD da borracha (ver capítulo 1.8).

Como no DEM não existe nenhuma máquina dedicada a efetuar medições de dureza em borrachas foi necessário projetar e desenvolver algum equipamento.

Começando pelo indentador, este foi obtido de uma ponta de uma esferográfica, que depois de analisada num microscópio Mitutoyo TM, com resolução de 0.001 mm, se confirmou apresentar o diâmetro pretendido de 1 mm. Um suporte para o indentador (Figura 4.12) foi fabricado com uma massa de 30 g para que fosse exercida sobre o provete a força de contacto requerida.

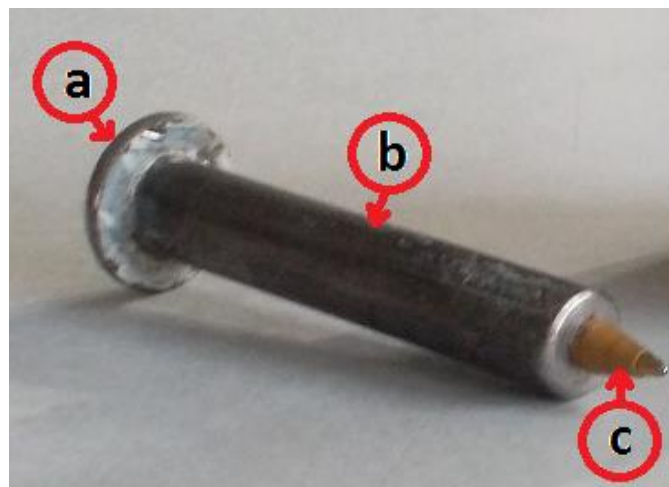


Figura 4.12: Suporte e indentador: (a) Cabeça boleada; (b) Corpo; (c) Ponta da esferográfica.

Seguidamente foi fabricado o pé (Figura 4.13) com o diâmetro de contacto estipulado e com uma massa de 850 g, de modo a que fosse exercida por este a força necessária sobre o provete.



Figura 4.13: Pé utilizado no teste da borracha.

O conjunto formado pelo indentador e o pé (Figura 4.14) foi depois instalado numa máquina de ensaios universal Shimadzu AG-50kNG, equipada com uma célula de carga de 500 N da mesma marca, com uma precisão de 0.5% do valor lido, onde os provetes retirados da chapa de borracha adquirida foram testados.



Figura 4.14: Conjunto indentador e pé.

Na máquina de ensaios universal foi colocado um provete de borracha sobre o qual se instalou o pé e o indentador, seguidamente foi aplicada a força de indentação necessária e mediu-se o deslocamento sofrido pelo indentador. Realizaram-se quatro ensaios no mesmo número de provetes, tendo sido obtidos os resultados presentes na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Resultados dos ensaios de dureza da borracha.

Provete	Indentação diferencial (mm)
1	0.356
2	0.285
3	0.388
4	0.333

Foi calculada a mediana dos valores obtidos, obtendo-se um valor de 0.3445 mm, o que corresponde a uma dureza de aproximadamente 90 IRHD. O valor obtido apesar de um pouco abaixo do requerido foi encarado como aceitável dadas as incertezas associadas às condições em que os ensaios foram realizados. Os desenhos de definição das ferramentas utilizadas na determinação da dureza da borracha (pé e suporte do indentador) encontram-se no Apêndice E.

Resolvida a questão anterior, foi colada uma tira de borracha cortada à medida na parte inferior do deslizador de madeira utilizando cola de contacto e tido o cuidado de também aparafusar as extremidades (Figura 4.15).



Figura 4.15: Sola de borracha aplicada no deslizador de madeira.

Depois foi aparafusada uma chapa de aço EN S235 na face superior do deslizador de madeira de modo a cumprir o requisito de peso necessário.

Para garantir a ligação do deslizador à correia de transporte da MEA foi fabricado um suporte a partir de uma chapa de aço da mesma qualidade na qual foi maquinado um furo. Seguidamente o suporte foi ligado permanentemente à chapa superior do deslizador através de soldadura (Figura 4.16).



Figura 4.16: Suporte de ligação do deslizador à correia de transporte.

Tendo em conta que a MEA necessita de obter dados acerca da variação de temperatura registada na superfície a testar, foi fabricado um suporte para montagem de um termopar de superfície a partir de uma chapa de aço quinada e soldada na chapa superior do deslizador. O suporte conta ainda com uma abraçadeira em alumínio que foi maquinada para que o termopar de superfície pudesse ser montado sem haver perigo de desalinhamentos ou vibrações (Figura 4.17).



Figura 4.17: Suporte do termopar de superfície.

4.7 Sistema de aquisição de dados

A MEA desenvolvida tinha como objetivo adquirir dados relativos à força de atrito e aumento de temperatura gerados quando o deslizador é puxado e empurrado ao longo de uma distância sobre a superfície a testar. De modo a atingir esse fim, a máquina foi dotada de dois dispositivos de aquisição de dados.

No que à força de atrito diz respeito, à semelhança do que aconteceu com a máquina de testes de impacto também aqui foi usada uma célula de carga, desta feita com uma capacidade máxima de 1000 N. A referida célula de carga foi instalada entre o suporte existente na correia de transporte e o suporte do deslizador (Figura 4.18).

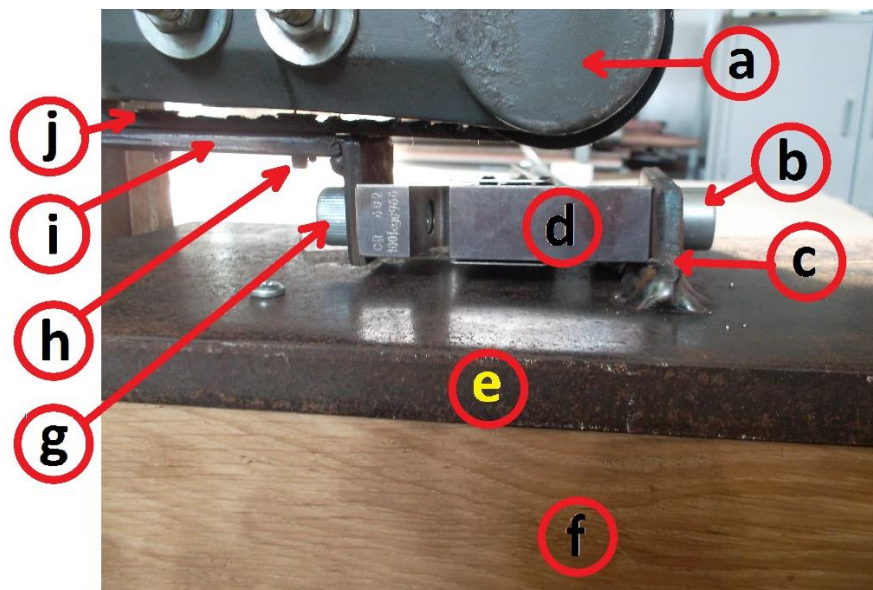


Figura 4.18: Montagem da célula de carga: (a) Bloco de rolamentos do veio livre; (b) Parafuso de ligação do suporte do deslizador à célula de carga; (c) Suporte do deslizador; (d) Célula de carga; (e) Chapa de adição de peso; (f) Deslizador de madeira; (g) Parafuso de ligação do suporte da correia transportadora à célula de carga; (h) Parafuso de ligação entre o suporte e a correia transportadora; (i) Suporte da correia transportadora; (j) Correia transportadora.

Com este tipo de montagem toda a força exercida pela correia de transporte sobre o deslizador é transmitida através da célula de carga, o que permite uma leitura precisa da força de atrito. O *hardware* de aquisição e medição de dados utilizado voltou a ser a carta NI 9237 instalada no chassis CompactDAQ.

Para a medição da variação da temperatura foi utilizado um termopar de superfície (Figura 4.19) da Omega Engineering® com uma junção térmica do tipo E.

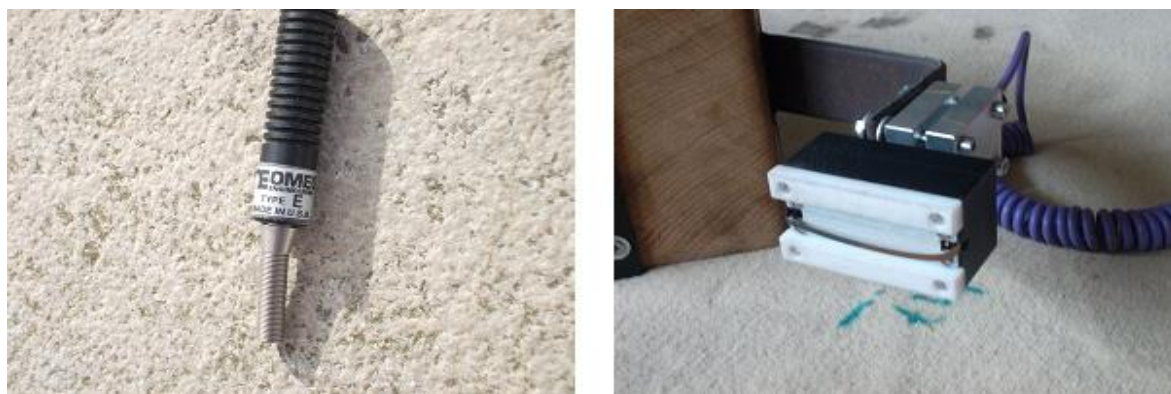


Figura 4.19: Termopar de superfície (à esquerda: selo de certificação do termopar; à direita: base e filamento do termopar).

As principais características do termopar utilizado encontram-se na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Características principais do termopar de superfície [21].

Tipo de junção	E
Temperatura de medição máxima	250°C
Aplicabilidade	Superfícies planas macias, paradas ou em movimento.
Velocidade máxima de medição	1500 mm/s

Tal como referido na norma [9] o termopar teria de ser acoplado ao deslizador, e uma vez que este último realiza o seu movimento sob a estrutura da MEA, também o termopar teria de ser capaz de se deslocar nesta zona sem haver riscos de atravancamento. Esta condição não era satisfeita, uma vez que devido ao facto de se destinar a uma utilização manual, o termopar adquirido possuía uma pega que devido às suas dimensões colidiria com a estrutura impossibilitando o funcionamento da MEA.

De modo a poder ser montado na máquina de atrito o termopar de superfície necessitou de uma pequena alteração, que consistiu no encurtamento da pega original. Para realizar esta alteração o termopar de superfície teve de ser desmontado para retirar a pega de modo a que esta pudesse ser modificada sem danificar o cabo que passa pelo seu interior e que se destina á transmissão dos dados adquiridos. Seguidamente a pega foi cortada recorrendo a uma serra manual, tendo sido todo o dispositivo reconstruído após esta operação. O termopar de superfície modificado foi por fim montado no deslizador utilizando as abraçadeiras fabricadas para o efeito (Figura 4.10 (e)).

Para realizar a aquisição de dados foi utilizada uma carta de leitura de termopar NI 9211 (Figura 4.20), instalada tal como a anterior, no chassis CompactDAQ.



Figura 4.20: Carta de leitura de termopar NI 9211.

As principais características da carta NI 9211 encontram-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Principais características da carta NI 9211 [12].

Tipo de medição	Temperatura
Número de canais de entrada	4
Resolução das entradas analógicas	24 Bits
Faixa de tensão	-80 a 80 mV
Amostragem simultânea	Não
Condicionamento de sinal	Compensação de junta fria

A aplicação LabVIEW utilizada para visualizar e gravar dados na MEI foi reaproveitada e alterada para que fosse possível realizar a leitura das duas cartas de aquisição de dados em simultâneo.

Deste modo a aplicação (Apêndice F) passou a incluir, além das áreas relativas à leitura da célula de carga que se mantiveram inalteradas, as seguintes funcionalidades (Figura 4.21):

- Área de monitorização da variação da temperatura em tempo real (1);
- Botão para interromper a leitura do termopar (2);

- Caixa de escolha do nome e local de gravação em disco do ficheiro de dados relativos à temperatura (3).

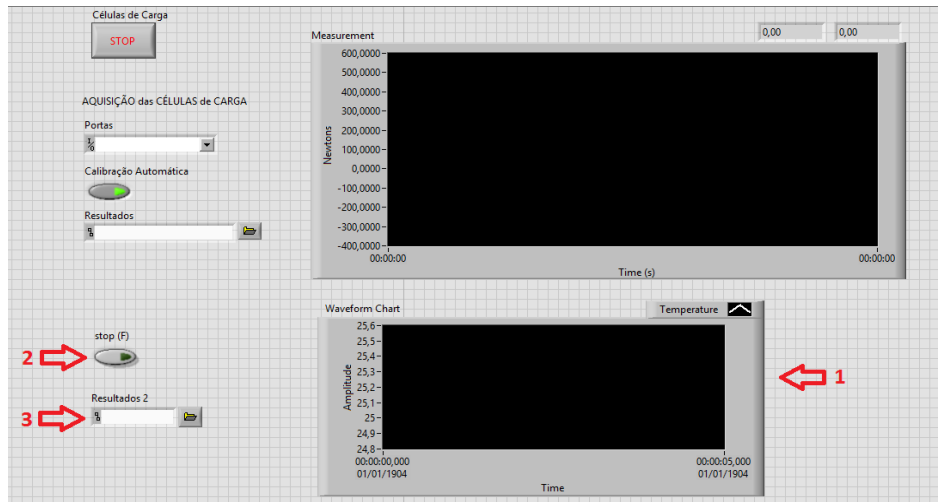


Figura 4.21: Aplicação de visualização e gravação de dados obtidos da célula de carga e termopar.

Capítulo 5

5 Procedimento experimental

5.1 Calibração das células de carga

De modo a obter uma correta leitura dos sinais de saída das células de carga, foi realizada uma calibração para cada uma das células utilizadas. A calibração efetuada foi levada a cabo na máquina de ensaios universal Shimadzu 50 kN-AG existente no DEM.

O procedimento de calibração realizado foi relativamente idêntico para ambas as células, residindo a única diferença no facto de a célula utilizada na MEI necessitar de calibração apenas para forças de compressão, enquanto a da MEA foi calibrada para forças de tração e compressão. Não obstante, a única diferença entre o método de calibração à tração e à compressão é apenas a forma de montagem da célula na máquina Shimadzu 50kN-AG. Assim sendo, as células foram montadas na máquina de ensaios de tração-compressão, conectadas a todo o *hardware* e *software* de aquisição de dados (Figura 5.1).

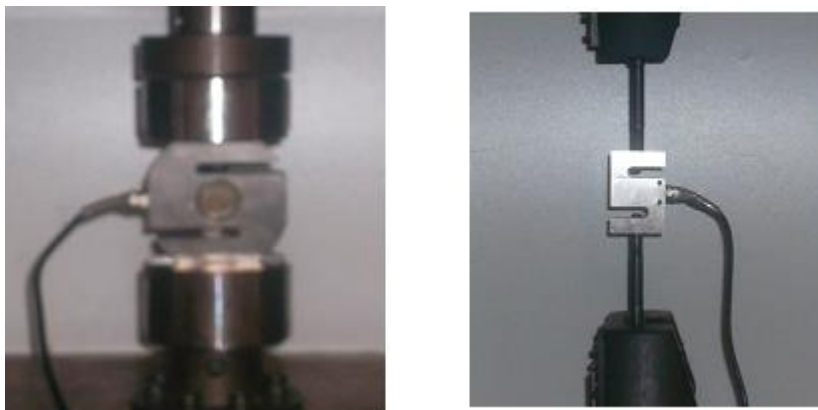


Figura 5.1: Montagem das células de carga para calibração, à compressão (esquerda) e tração (direita).

Para ambos os casos (tração e compressão) foi sendo aplicada uma força gradual, começando por 50 N, sendo esta força dobrada no teste seguinte, e assim sucessivamente, sendo guardados os valores reais da força dada pela máquina de tração e os valores lidos através da célula de carga.

De notar que entre cada degrau de força aplicada, a força a que a célula se encontrava sujeita era retirada sendo o ponto seguinte calculado sempre a partir do zero.

A partir dos dados recolhidos foram traçados posteriormente as retas de calibração de cada célula.

No caso da célula de carga da MEI, foi obtida uma reta de calibração descrita pela equação $F_{lida} = 0.8114 \times F_{real}$ (Figura 5.2).

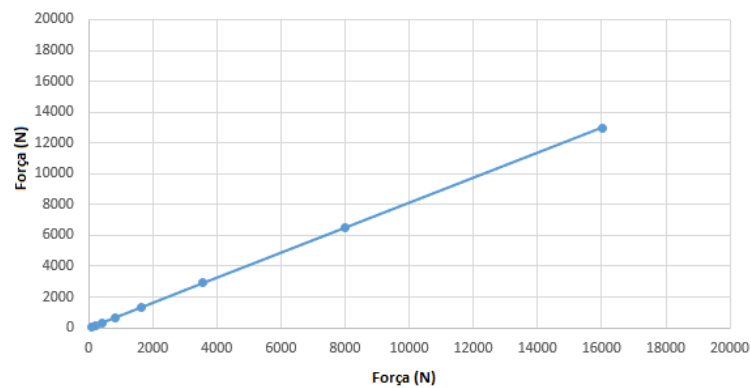


Figura 5.2: Reta de calibração da célula de 20 kN.

No caso da célula de carga da MEA, a equação da reta de calibração obtida foi $F_{lida} = 0.8175 \times F_{real}$ (Figura 5.3)

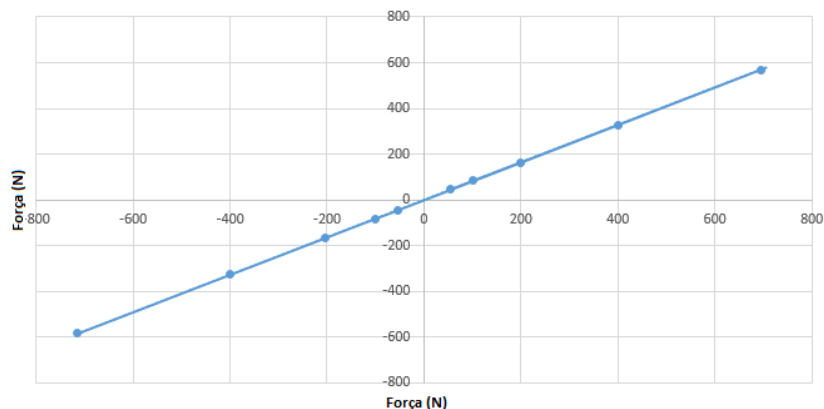


Figura 5.3: Reta de calibração da célula de 1000 N

Em ambos os casos foram obtidas correlações quase perfeitas para as retas traçadas.

Os valores obtidos através da calibração foram posteriormente inseridos na aplicação LabVIEW utilizada, de modo a que o ficheiro de dados gerado apresentasse já os valores da força real medida.

5.2 Calibração do *encoder* de fio

Além das células de carga, também o *encoder* de fio utilizado foi alvo de uma calibração. De modo a obter os resultados mais fiáveis possíveis as medições reais deveriam ser feitas a partir de uma base de calibração que se soubesse de antemão ser perfeitamente plana. A base de calibração escolhida para o efeito foi uma peça em aço, maquinada em ambas as suas faces. Tendo a base de calibração escolhida, o *encoder* foi conectado ao restante sistema de aquisição de dados, colocou-se o impactor a uma cota fixa e mediu-se, com uma fita métrica metálica, a distância desde a base de calibração até à superfície do impactor (Figura 5.4).

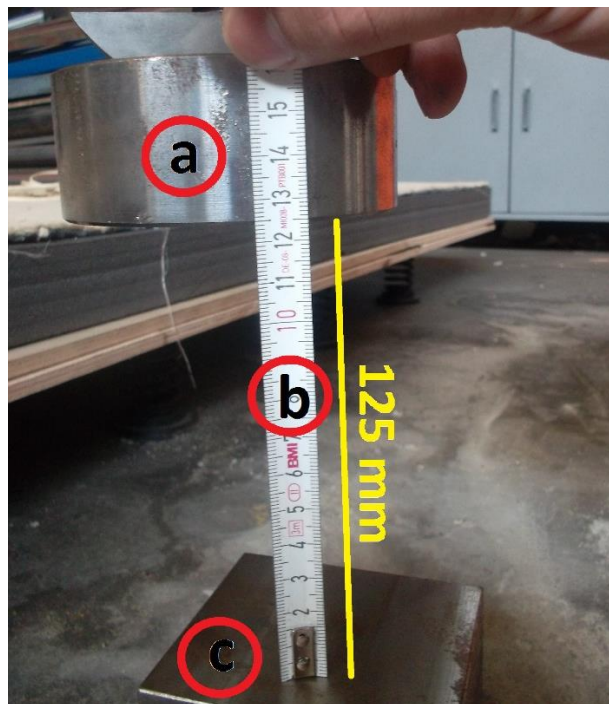


Figura 5.4: Medição de uma cota real (125 mm) para calibração do *encoder*: (a) Base do impactor; (b) Fita métrica metálica; (c) Base de calibração.

Após a determinação da distância medida, foram recolhidos dados a partir do sistema de aquisição do *encoder*. Este processo foi repetido para cinco cotas diferentes, tendo sido obtida uma reta de calibração (Figura 5.5) regida pela equação $Posição\ real = \frac{Voltagem\ medida - 0.094496}{0.000988}$ (mm).

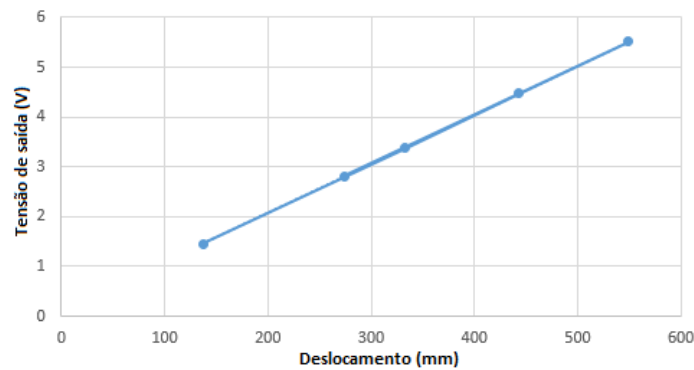


Figura 5.5: Reta de calibração do *encoder*.

Através da equação anterior ficou definida a fórmula de conversão dos valores de voltagem lidos para a posição real do impactor. Assume-se que este esquema de medição apresente um erro associado de aproximadamente 1 mm, que é a precisão da fita métrica.

5.3 Teste do termopar de superfície

De modo a perceber qual a exatidão dos dados adquiridos através do termopar de superfície utilizado, foi efetuado um teste recorrendo a um elemento de temperatura conhecida. O elemento escolhido foi o gelo. Assim, foi colocado o termopar sobre um bloco de gelo, tendo sido obtida uma temperatura lida de aproximadamente 0 °C, o que atestou o bom funcionamento tanto do termopar como da carta de aquisição de dados utilizada, pelo que não se justificou a realização de qualquer tipo de calibração neste sensor.

5.4 Ensaio de Impacto

Estando todos os equipamentos necessários prontos, foi tempo de dar início à realização dos ensaios de impacto. Para cada uma das duas configurações de piso existentes (Figura 2.3), foram realizados cento e setenta ensaios distribuídos por dezassete pontos localizados na superfície do piso de ginástica, resultando assim num total de trezentos e quarenta ensaios. A ordem pela qual os ensaios foram realizados (Figura 5.6) não obedeceu a nenhum critério específico tendo sido escolhida por motivos de logística de movimentação do piso em teste.

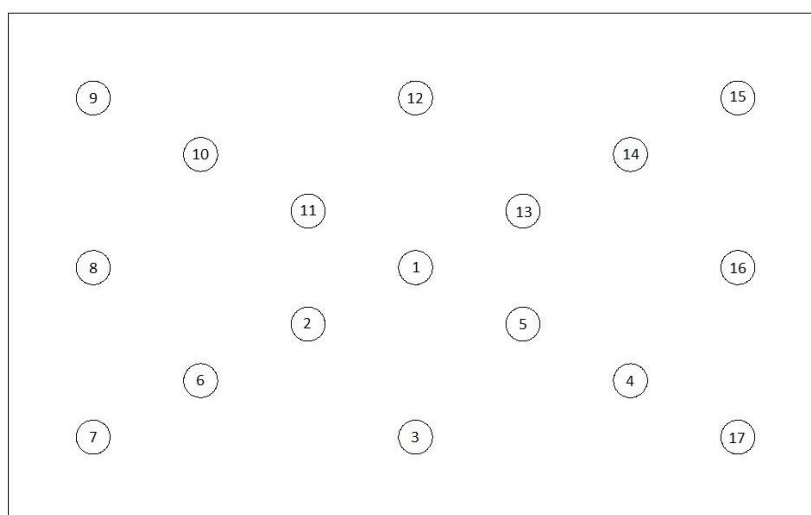


Figura 5.6: Pontos de realização de ensaios de impacto, ordenados de acordo com o realizado experimentalmente.

Todos os ensaios realizados seguiram criteriosamente as instruções presentes na norma [8] (ver capítulo 1.5).

Em cada ponto foi realizada uma medição antes de efetuado qualquer ensaio para determinar a cota da superfície do piso, de modo a fixar um plano de referência a partir da qual o afundamento e o ressalto foram calculados. Este procedimento foi realizado em todos os pontos a analisar devido ao facto de a superfície do piso não ser perfeitamente plana, o que levaria a que tanto os ressaltos como os afundamentos fossem erradamente calculados no caso de se ter admitido a mesma cota de referência em toda a superfície. A razão de o procedimento anterior ter sido efetuado antes dos ensaios adveio do facto de a camada de

espuma polimérica do piso sofrer uma deformação plástica após os ensaios, o que conduziria a resultados enganosos.

Dada a elevada quantidade de ficheiros de dados resultantes dos ensaios, foi escrito um programa em Matlab[®] para efetuar um tratamento de dados automático (Apêndice G). O programa desenvolvido tinha como função abrir todos os ficheiros de dados, efetuar os cálculos necessários e gerar um ficheiro contendo os resultados finais em Excel[®]. Graças a esta solução o tempo despendido para tratamento de dados foi reduzido exponencialmente, ao mesmo tempo que foi eliminado o risco de erros humanos induzidos nos cálculos.

Para o piso de ginástica utilizando as placas de espuma polimérica de quatro camadas foram obtidos os resultados presentes na Tabela 5.1. O Apêndice H apresenta os gráficos resultantes do primeiro dos dez testes efetuados para cada ponto.

Tabela 5.1: Resultados obtidos para o piso com placas poliméricas de quatro camadas.

	Ressalto (mm)	Afundamento (mm)	Força máxima (N)	Plano de referência (mm)
Ponto 1	252,84	73,40	-3593,79	113,82
Ponto 2	290,47	74,65	-3369,07	115,64
Ponto 3	341,81	80,33	-2726,59	113,33
Ponto 4	247,98	72,63	-3374,01	114,38
Ponto 5	287,22	71,17	-3301,12	113,66
Ponto 6	249,67	70,62	-3289,72	113,45
Ponto 7	302,03	79,34	-3039,47	111,43
Ponto 8	318,99	80,10	-2920,33	114,91
Ponto 9	328,79	85,28	-3056,87	116,40
Ponto 10	240,26	72,22	-3147,53	114,78
Ponto 11	272,58	72,35	-3293,70	115,64
Ponto 12	312,84	78,00	-2791,69	113,33
Ponto 13	269,52	72,58	-3221,80	114,63
Ponto 14	251,83	71,28	-3296,07	114,38
Ponto 15	289,53	82,88	-3015,14	112,98
Ponto 16	328,68	78,25	-2899,92	113,78
Ponto 17	328,16	83,28	-3016,02	114,20
Média	289	76	-3138	114

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados obtidos para o piso dotado de placas poliméricas de cinco camadas. O Apêndice I apresenta os gráficos resultantes do primeiro dos dez testes efetuados para cada ponto.

Tabela 5.2: Resultados obtidos para o piso com placas poliméricas de cinco camadas.

	Ressalto (mm)	Afundamento (mm)	Força (N)	Plano de referência (mm)
Ponto 1	261,51	74,50	-3488,55	122,56
Ponto 2	283,74	75,38	-3222,76	124,30
Ponto 3	324,74	80,97	-2616,16	122,99
Ponto 4	261,10	74,80	-3245,61	124,59
Ponto 5	281,01	72,47	-3122,05	122,98
Ponto 6	261,77	73,23	-3190,97	123,74
Ponto 7	281,70	85,95	-2967,92	125,11
Ponto 8	293,64	81,59	-2775,20	125,39
Ponto 9	327,12	85,88	-2751,98	125,36
Ponto 10	247,31	74,33	-3027,49	124,61
Ponto 11	278,78	73,08	-3177,66	124,29
Ponto 12	318,18	79,62	-2639,05	124,11
Ponto 13	267,49	74,57	-3084,74	123,84
Ponto 14	259,36	73,89	-3112,24	124,92
Ponto 15	314,76	84,21	-2711,49	123,62
Ponto 16	328,17	83,40	-2704,42	127,52
Ponto 17	316,29	84,59	-2802,58	123,54
Média	289	78	-2979	124

Nas Tabelas 5.1 e 5.2 poderiam ter sido apresentados os desvios padrão dos resultados obtidos, no entanto como a inclusão destes valores tornaria as tabelas demasiado extensas e além disso não são solicitados pela norma [8] optou-se por omitir os mesmos.

5.5 Ensaio de Atrito

Os ensaios de atrito foram levados a cabo recorrendo à máquina desenvolvida para este efeito. O procedimento experimental realizado seguiu as diretivas da norma [9] (ver secção 1.6). Assim sendo, a máquina foi colocada sobre a superfície do piso de ginástica e foram realizados os testes nas duas direções impostas (A e B), recolhendo os dados necessários relativos à força de atrito e aumento de temperatura (Figura 5.7).



Figura 5.7: Máquina de ensaios de atrito em posição de teste, com representação das direções A e B testadas.

Na Figura 5.8 é apresentado um gráfico contendo o resultado obtido de um teste na direção A relativos à força de atrito. Da análise do referido gráfico é possível distinguir duas zonas distintas e que se encontram assinaladas sendo:

- Tração – nesta zona a força lida apresenta valores positivos (o deslizador está a ser puxado pela correia transportadora);
- Compressão – valores lidos para a força são negativos nesta zona (o deslizador é empurrado pela correia transportadora).

De um modo geral, é possível constatar a partir do gráfico cinco zonas de tração e outras tantas de compressão, representando as cinco sequências impostas pela norma [9] em que o deslizador tem de ser empurrado e puxado.

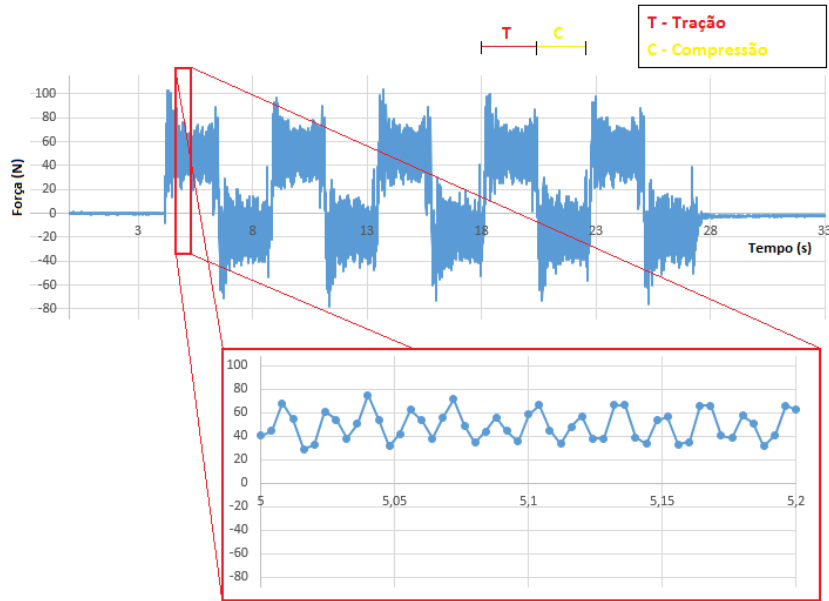


Figura 5.8: Resultado obtido de um teste para a força de atrito.

Continuando a análise ao gráfico presente na Figura 5.8, é possível notar que existe algum ruído nos dados obtidos, que se julga possuir as seguintes origens:

- Vibrações na correia transportadora;
- Não continuidade do movimento do deslizador, devido ao facto de se utilizar um motor de passo com uma velocidade angular relativamente baixa. Esta é uma causa menos provável que a primeira, no entanto foi considerada devido ao padrão relativamente constante dos resultados obtidos, que se pode observar na zona ampliada do gráfico.

Tal como já foi referido, na zona ampliada do gráfico (Figura 5.8) é possível notar um padrão relativamente constante nos dados adquiridos, tendo sido considerado aceitável utilizar como valor final da força lida a média dos resultados obtidos. Deste modo, foram calculadas as médias de cada segmento do movimento, obtendo assim o valor da força necessária para a determinação do coeficiente de atrito. Naturalmente, o cálculo do coeficiente de atrito foi obtido por:

- $$\mu = \frac{\text{média da força de tração} - \text{compressão lida}}{\text{massa do deslizador} \times 9.8} \quad (\text{e } 5.1).$$

Na Figura 5.9 é apresentado um gráfico no qual são representados os dados recolhidos para a variação de temperatura registada na superfície do piso de ginástica. Da análise do referido gráfico é possível distinguir cinco zonas (Figura 5.9 (1) a (5)) em que cada uma delas se refere a uma sequência em que o deslizador é puxado e empurrado.

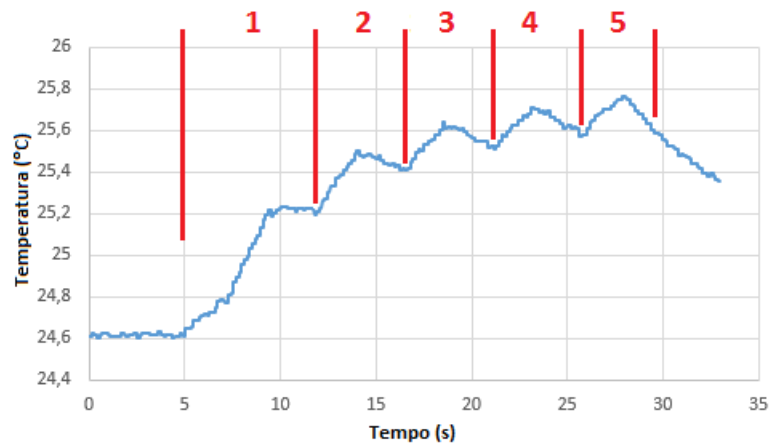


Figura 5.9: Resultado obtido de um ensaio para a variação de temperatura.

Nota-se que até aproximadamente metade de cada uma das cinco zonas a temperatura aumenta, mantendo-se constante ou diminuindo de seguida. Este comportamento advém da posição em que o termopar de superfície se encontra montado na MEA e permite compreender o efeito do deslizador sobre a superfície em teste. Mais concretamente, o termopar de superfície encontra-se instalado numa das extremidades do deslizador, o que leva a que quando este último é puxado sejam adquiridos dados de uma superfície previamente friccionada (Figura 5.10 (i), termopar na zona traseira do deslizador relativamente ao movimento). Por outro lado, quando o deslizador é empurrado o termopar de superfície adquire valores numa zona em que a temperatura está estável ou a diminuir (Figura 5.10 (ii), termopar na zona frontal do deslizador relativamente ao movimento).

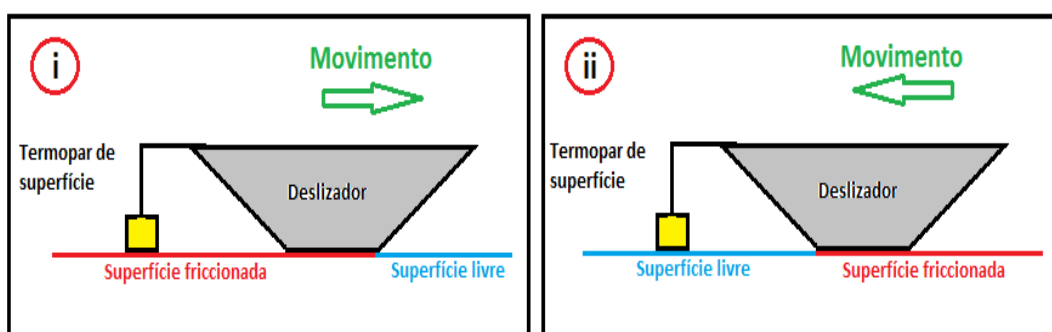


Figura 5.10: Efeito do deslizador na leitura da variação da temperatura.

Posteriormente, os dados recolhidos foram tratados e os resultados calculados conforme requerido pela norma.

Os resultados obtidos para o coeficiente de atrito foram agrupados na Tabela 5.3, sendo o coeficiente de atrito B o obtido na direção ortogonal a A.

Tabela 5.3: Resultados obtidos nos ensaios de atrito.

	Coeficiente de atrito A	Coeficiente de atrito B
Teste 1	0,5439	0,4347
Teste 2	0,5367	0,4844
Teste 3	0,5443	0,4753
Média	0,5416	0,4648
Coeficiente de atrito final	0,5032	
Diferença ortogonal	0,0768	

Por fim, resta apenas apresentar os resultados obtidos para o aumento de temperatura registado, que se encontram organizados na Tabela 5.4. Novamente os dados referentes ao aumento de temperatura B foram obtidos na direção ortogonal a A.

Tabela 5.4: Resultados do aumento de temperatura na superfície.

	Aumento temperatura A	Aumento temperatura B
Teste 1	1,1480	1,4840
Teste 2	1,1515	1,4205
Teste 3	1,1741	1,4708
Média	1,1579	1,4584
Aumento de Temperatura final	1,3081	
Diferença ortogonal	0,3006	

Tal como nas Tabelas 5.1 e 5.2, também nas Tabelas 5.3 e 5.4 se optou por omitir os valores do desvio padrão, pelas mesmas razões descritas no Capítulo 5.4.

Os gráficos contendo os dados recolhidos durante a realização dos testes de atrito podem ser consultados no Apêndice J .

Capítulo 6

6 Conclusões e trabalhos futuros

Os objetivos inicialmente propostos para a presente dissertação foram cumpridos:

- A máquina de ensaios de impacto foi alterada tendo sido melhorado o seu funcionamento e operabilidade;
- Uma máquina de ensaios de atrito foi construída e o seu funcionamento comprovado com bons resultados;
- Foram efetuados ensaios de impacto e atrito, obtendo-se um estudo relativo às propriedades mecânicas do piso de ginástica utilizado.

Relativamente aos resultados obtidos, foi provado que no que diz respeito ao coeficiente de atrito, ressalto e força máxima de impacto o piso em questão cumpre os requisitos necessários para obter homologação internacional, no entanto, o mesmo não acontece para o caso do afundamento que se mostrou excessivo.

Embora os objetivos iniciais tenham sido cumpridos, são sempre necessárias e possíveis ações retificativas e melhoramentos, pelo que são propostos para trabalhos futuros:

- Alterar a máquina de ensaios de impacto de forma a que o impactor seja colocado em posição de ensaio automaticamente de modo a que as condições de ensaio sejam sempre iguais;
- Realizar um estudo através de simulação numérica para validar os resultados obtidos nos ensaios de impacto;
- Instalar na máquina de ensaios de atrito um sistema de guiamento para o deslizador com o intuito de eliminar eventuais vibrações que possam originar erros de leitura;
- Adicionar fins de curso ou controlo em malha fechada na máquina de ensaios de atrito para precaver situações em que o motor possa eventualmente perder alguns passos, nomeadamente aquando da

utilização da máquina em pisos que promovam maiores forças de atrito;

- Promover alterações no piso de ginástica para que os valores de afundamento sejam corrigidos, utilizando por exemplo molas diferentes ou alterar a sua colocação no piso;
- Tendo conhecimento à data da redação da presente dissertação que serão efetuadas alterações ou atualizações nas normas existentes [8][9], realizar novos ensaios de acordo com as novas diretivas.

7 Referências Bibliográficas

- [1] Ruckert, Cassius O.F.T. Ensaio de Dureza de impacto, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística,2016.
- [2] Tempelman, E. et al. Experimental and Analytical study of free-fall drop impact testing of portable products, Delft University of Technology, Faculty of industrial Design Engeneering,2012.
- [3] Univer. ASTM D2444 Standard Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight), 2016. Disponível na Internet: <http://www.univer-test.com/> [Acedido em 2 de Junho de 2016]
- [4] TWI. Mechanical testing - notched bar or impact testing,2016. Disponível na Internet: <http://www.twi-global.com/> [Acedido em 2 de Junho de 2016]
- [5] Couchinho, Rui Pedro dos Santos. Medição do coeficiente de atrito da superfície de pavimentos, Instituto de Engenharia de Lisboa, Área Departamental de Engenharia Civil,2011.
- [6] HSE, Assessing the slip resistance of flooring, 2012. Disponível na Internet: <http://www.hse.gov.uk/pubns/geis2.pdf> [Acedido em 5 de Abril de 2016];
- [7] Valdo, Letícia. Normalização do ensaio de resistência ao escorregamento para rochas ornamentais: Análise pelo método do pêndulo britânico, XXII Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral - Rio de Janeiro,2014
- [8] FIG MAG 1. Standard Specification: Floors for Men Artistic Gymnastics,2006.
- [9] FIG RG 1. Standard Specification: Rhythmic Gymnastic Floors,1992.

- [10] BS EN 12503-6. Sports mats-Part 6: Determination of the top friction,2001.
- [11] ISO 48. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of hardness (hardness between 10 and 100 IRHD),2010.
- [12] National Instruments. CompactDAQ. National Instruments Corporation, 2016. Disponível na Internet: <http://goo.gl/ly4JHh> [Acedido em 2 de Abril de 2016].
- [13] Maio, João Pedro Martins. Projeto e construção de máquina de ensaios biaxiais, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro,2014.
- [14] Eckel,Tim. NewPing Library for arduino,2015. Disponível na Internet: <http://playground.arduino.cc/Code/NewPing> [Acedido a 22 de Março de 2016]
- [15] Phidgets. Products for USB Sensing and Control - Draw Wire Encoder,2016. Disponível na Internet: http://www.phidgets.com/products.php?product_id=ENC4104 [Acedido a 28 de Maio de 2016]
- [16] Roundss. Draw Wire Encoder Manual, 2015. Disponível na Internet em http://www.roundssencoder.com/pro_dr.asp [Acedido a 22 de Fevereiro de 2016]
- [17] HBM. PC measurement electronics Spider8,Siper 8-30 and Spider8-01 Operating Manual,Im Tiefen See Darmstadt,2004.
- [18] 1688. Equipamento Elétrico, motor de passo. Disponível na Internet: <https://detail.1688.com/offer/524358073382.html?spm=0.0.0.0.HbhO7C> [Acedido a 6 de Junho de 2016]
- [19] SmithersRapra. Rubber Sliders 96, 2016. Disponível na Internet: <http://www.smithersrapra.com/testing-services/by-material/reference-materials/rubber-sliders> [Acedido a 3 de Março de 2016]

[20] MunroInstruments. Mounted 4S(96) Rubber-Slider,2016. Disponível na Internet: <http://munroinstruments.com/product/mounted-4s96-rubber-slider-large/> [Acedido a 3 de Março de 2016]

[21] Omega. Unique Block Surface Thermocouple Probes, 2016. Disponível na Internet: http://www.omega.com/pptst/88000_BLOCK.html [Acedido a 23 de Fevereiro de 2016]

Apêndice A

Desenhos de definição das peças fabricadas para a máquina de ensaios de impacto.

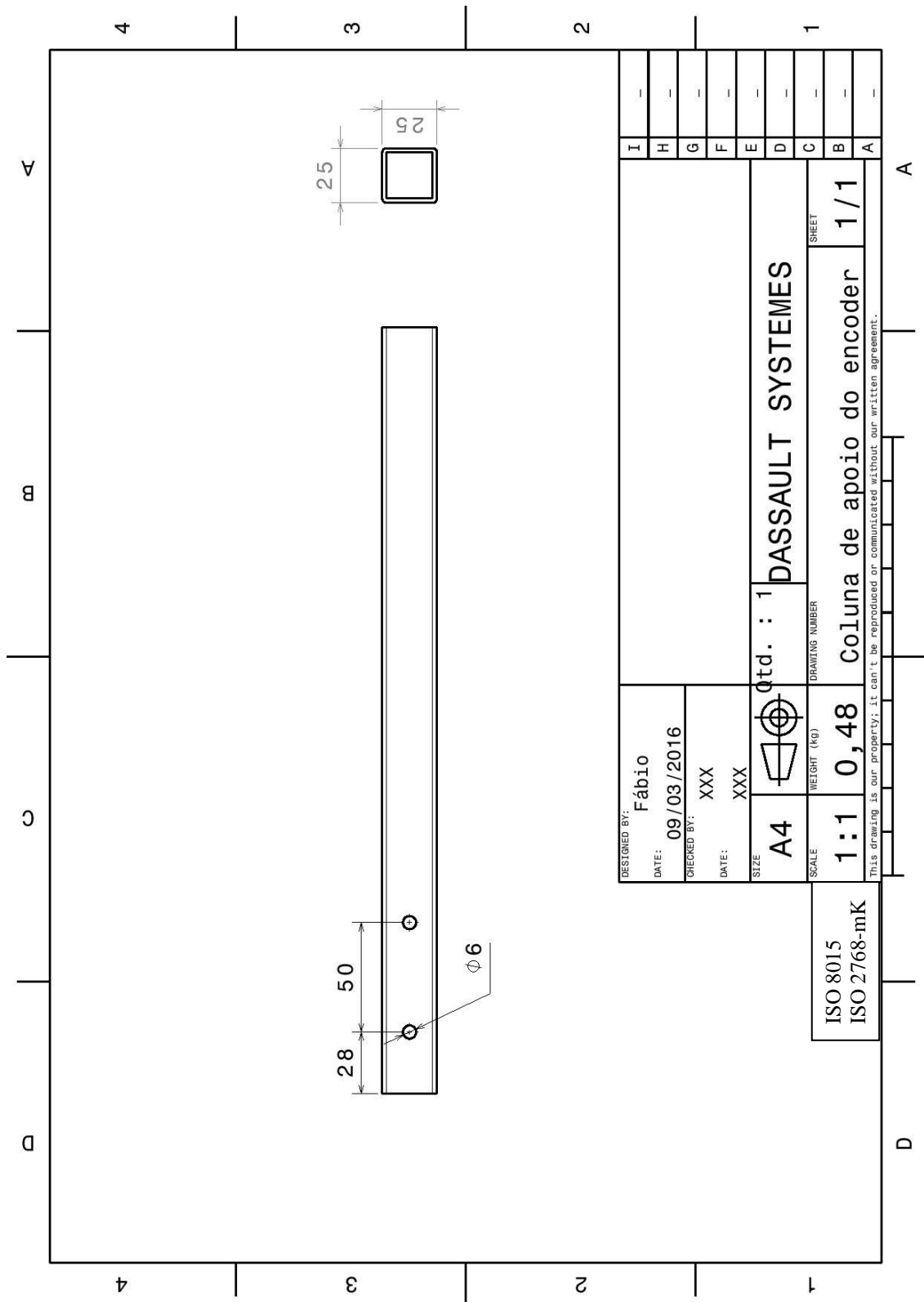


Figura A. 1: Coluna de apoio do *encoder*.

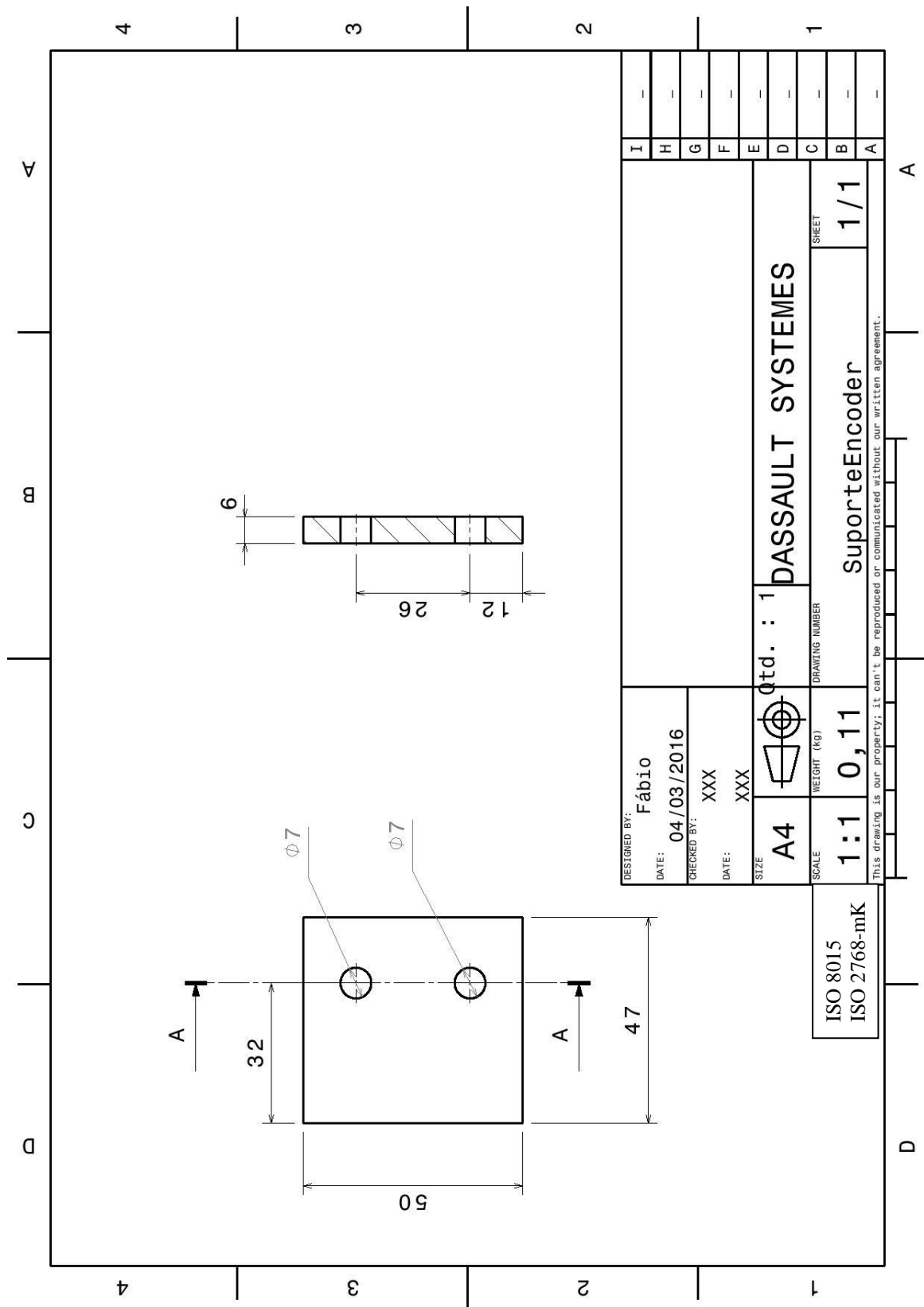


Figura A. 2: Chapa de suporte do *encoder*.

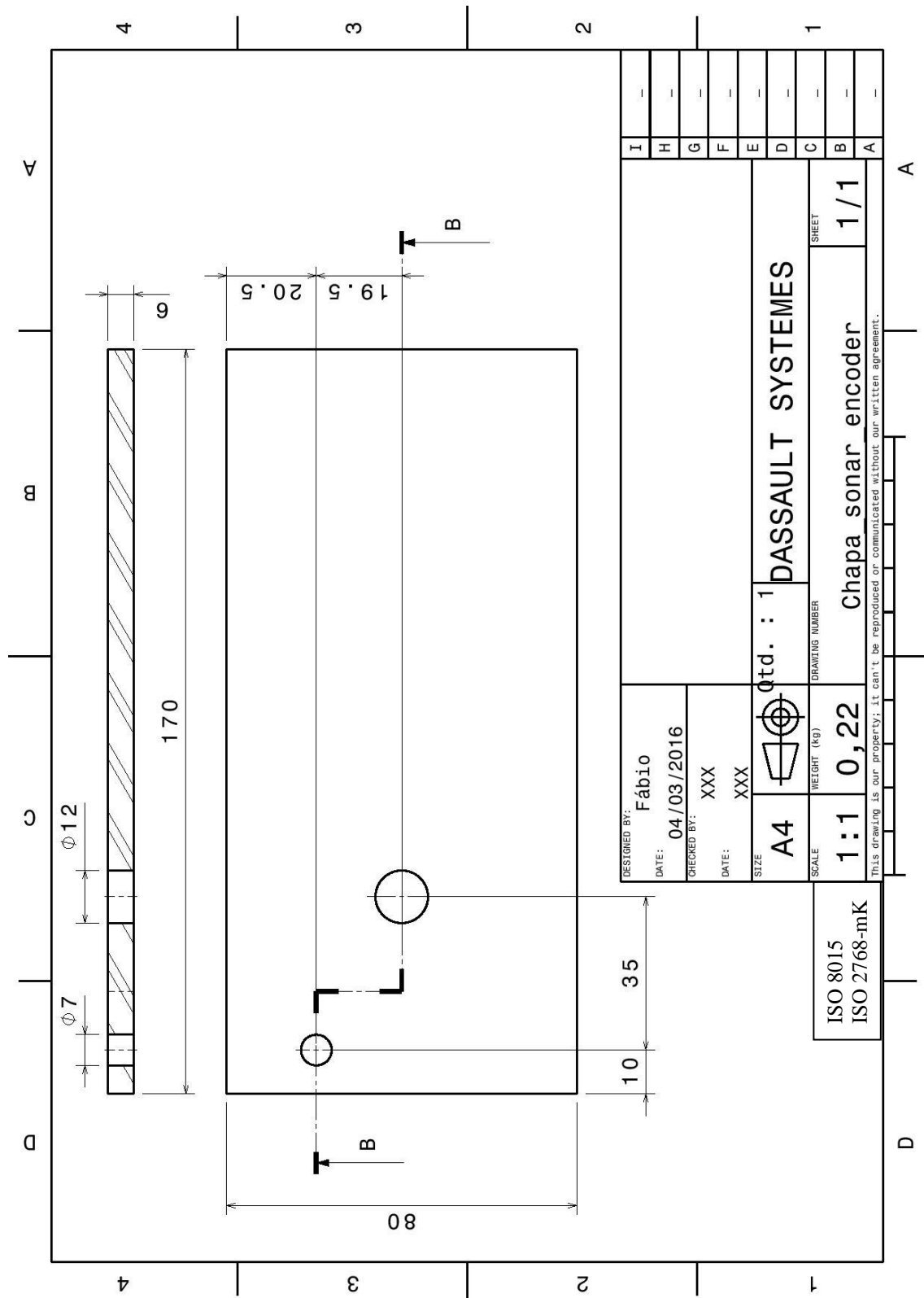


Figura A. 3: Chapa de apoio à aquisição de dados.

Apêndice B

Manual de configuração do dispositivo Spider 8 da HBM e de utilização do *software* Catman 4.5

O *software* apresenta o seguinte esquema de funcionamento:

- 1) Realiza-se a configuração da comunicação entre o computador e o aparelho Spider 8 através do assistente (Figura B. 1). Foi escolhida uma comunicação Rs232 com uma taxa de transferência de 38400 bits/s.

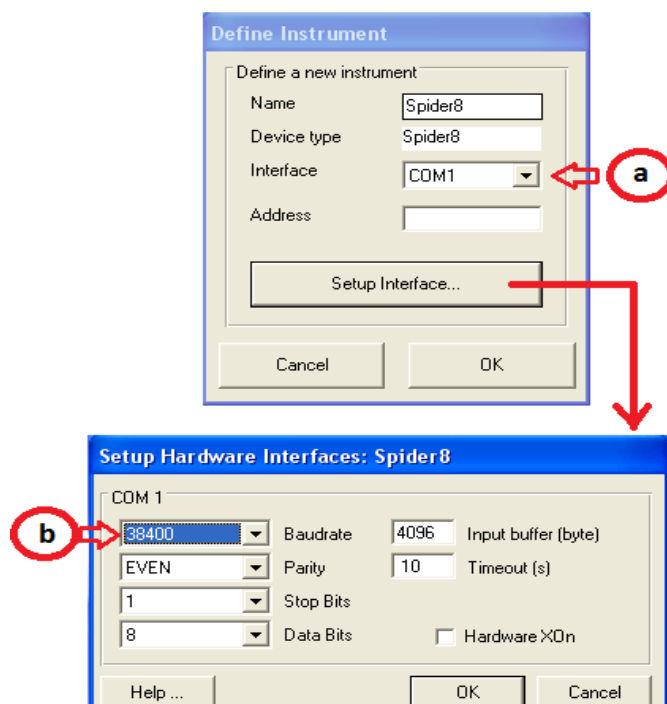


Figura B. 1: Configuração da comunicação entre o computador e o aparelho Spider 8: (a) Escolha da porta desejada, neste caso a porta COM1; (b) Escolha da velocidade de transferência, 38400 bits/s.

- 2) Seguidamente configuram-se as cartas de aquisição a utilizar para o tipo de dados pretendidos (Figura B. 2). Foi escolhida para o presente trabalho a carta número cinco, tendo esta sido configurada para realizar a leitura de tensões de corrente contínua até 10 V. Foi ainda configurada a taxa de aquisição para 1600 Hz utilizado um filtro digital de Butterworth.

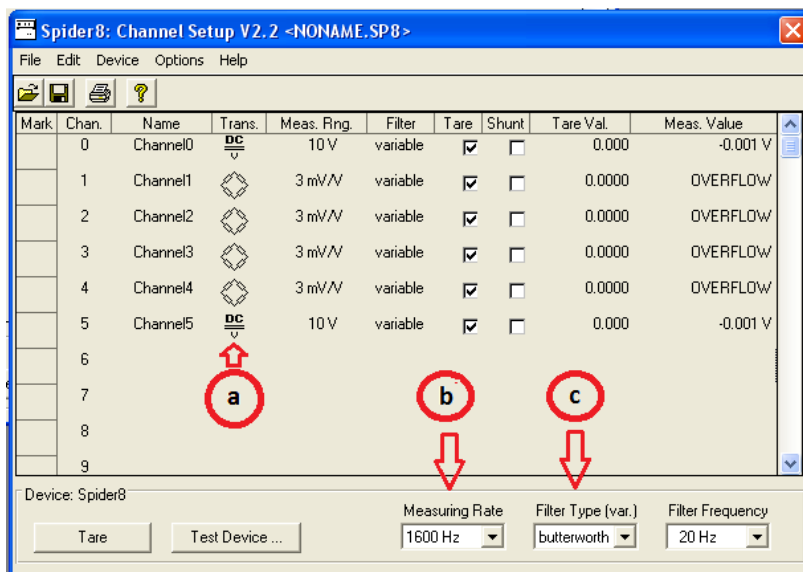


Figura B. 2: Configuração das cartas de aquisição do Spider 8: (a) Escolha do tipo de dados a recolher; (b) Escolha da taxa de aquisição pretendida; (c) Escolha do filtro digital a aplicar.

3) Seguidamente é realizada a escolha de que cartas de aquisição serão utilizadas (Figura B. 3). Para isso é necessário realizar uma busca de modo a que o *software* reconheça todos os dispositivos Spider 8 conectados. Todas as cartas à exceção da carta número cinco foram desativadas, tendo permanecido ativa também a aquisição do tempo de ensaio.

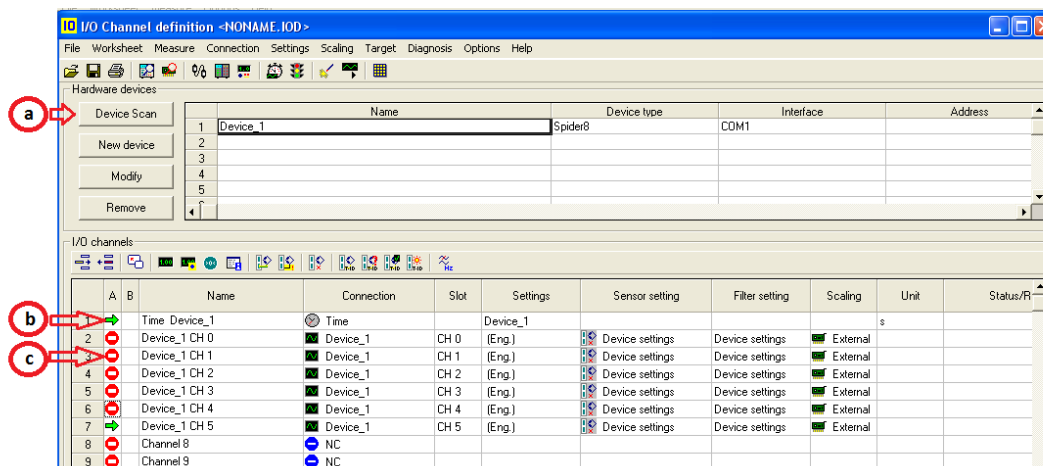


Figura B. 3: Escolha das cartas de aquisição de dados a utilizar: (a) Procura dos dispositivos Spider 8 conectados; (b) Canais ativos; (c) Canais inativos.

- 4) O passo seguinte é definir a taxa de aquisição de dados (Figura B. 4 (a)). Embora esta já tenha sido definida no assistente do Spider 8 (Figura B. 2 (b)) o *software* Catman não reconhece esta configuração, utilizando um valor por defeito fixado nos 50 Hz, pelo que este é um passo a ter em atenção. Foi definida uma taxa de aquisição de 1600 Hz, valor que permitiu obter resultados precisos sem o risco de causar um *overflow* no Spider 8, problema que surgiu quando foram testadas taxas de aquisição mais elevadas.

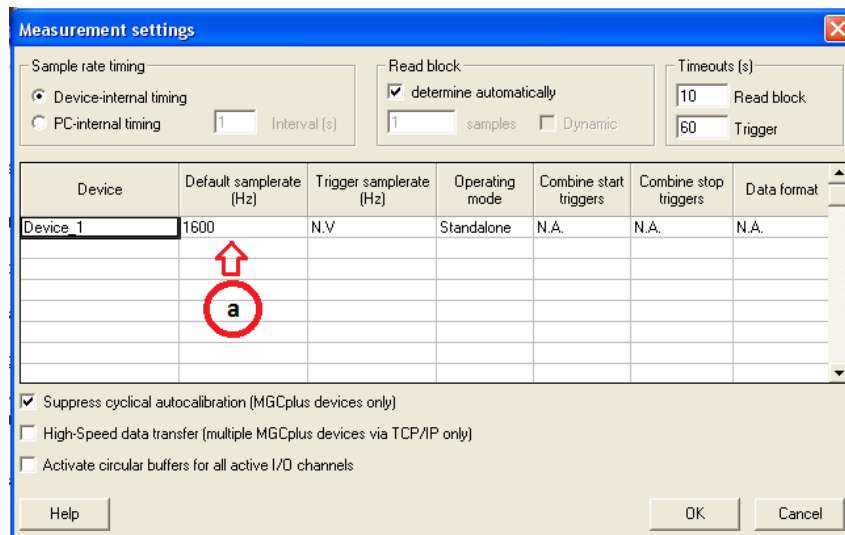


Figura B. 4: Escolha da taxa de aquisição de dados (a).

- 5) Tendo realizada toda a configuração do aparelho Spider 8 e *software* Catman, é iniciado o módulo de aquisição de dados. É apresentada uma janela de configuração com vários parâmetros disponíveis, como por exemplo, se é pretendida uma paragem automática da aquisição de dados e se essa paragem será realizada consoante o número de amostragens ou tempo decorrido, se será necessária a apresentação dos dados recolhidos num gráfico em tempo real, entre outros (Figura B. 5: Configuração do módulo de aquisição de dados.). Para o trabalho realizado no âmbito da presente

dissertação, todos os parâmetros deste módulo foram deixados com as definições de defeito.

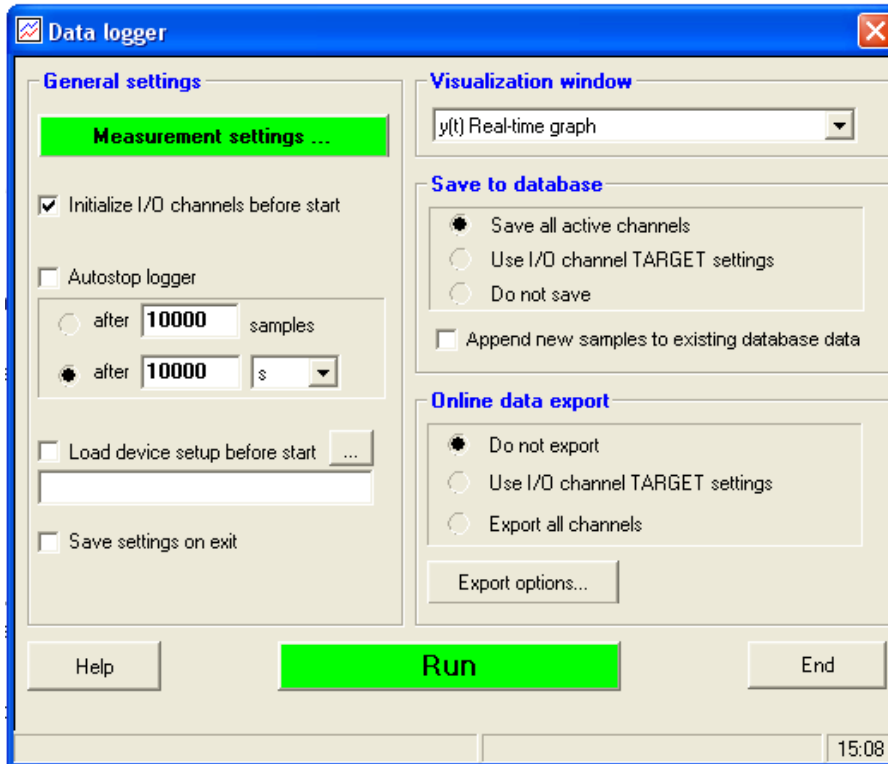


Figura B. 5: Configuração do módulo de aquisição de dados.

- 6) O módulo de aquisição de dados é por fim apresentado (Figura B. 6) sendo composto por: (a) Área de visualização dos dados adquiridos em tempo real; (b) Botão de início de aquisição de dados; (c) Botão de paragem de aquisição de dados; (d) Tempo de ensaio decorrido; (e) Número de amostras recolhidas; (f) Botão de gravação dos dados recolhidos, (g) Número de amostras na base de dados; (h) Área de gráfico de amostragem em tempo real. A aquisição de dados inicia-se e termina-se recorrendo aos botões da Figura B. 6 (b) e (c) respetivamente, sendo de grande importância impedir que o número de amostras presente na base de dados atinja os cem por cento, caso contrário toda a informação adquirida será perdida.

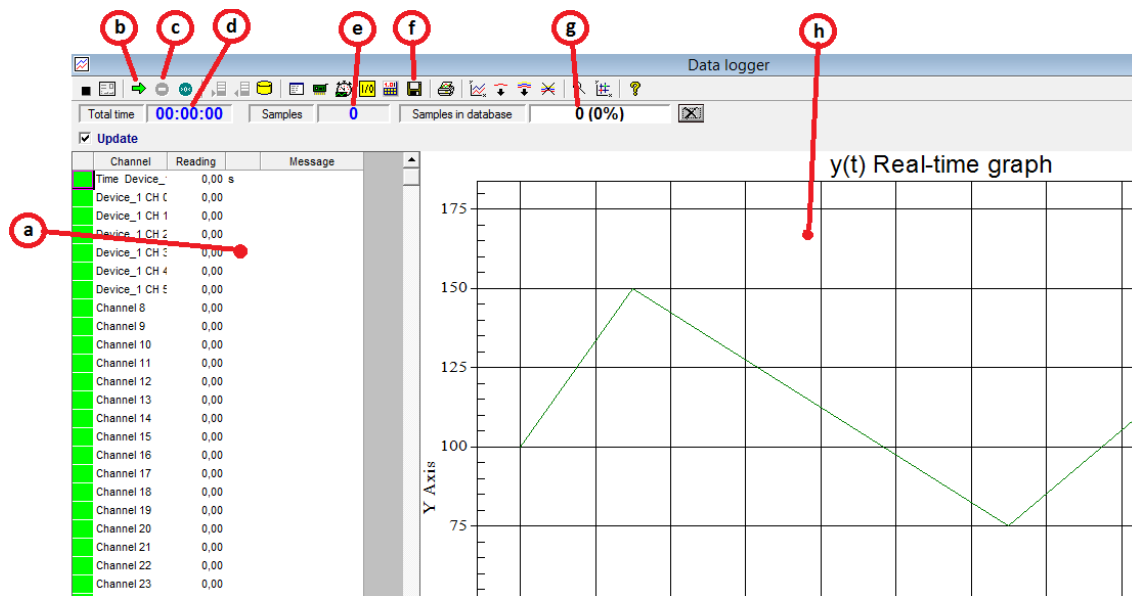


Figura B. 6: Módulo de aquisição de dados do software Catman 4.5.

- 7) O passo seguinte depreende-se com a gravação dos dados adquiridos. Para efetuar a gravação em disco recorre-se ao botão presente na Figura B. 6 (f), sendo posteriormente apresentada a janela de configuração do ficheiro a guardar (Figura B. 7), sendo necessário escolher: (a) O nome do ficheiro; (b) O local de gravação em disco; (c) Os canais pretendidos (através dos quais se adquiriram os dados); (d) A extensão do ficheiro a gerar.

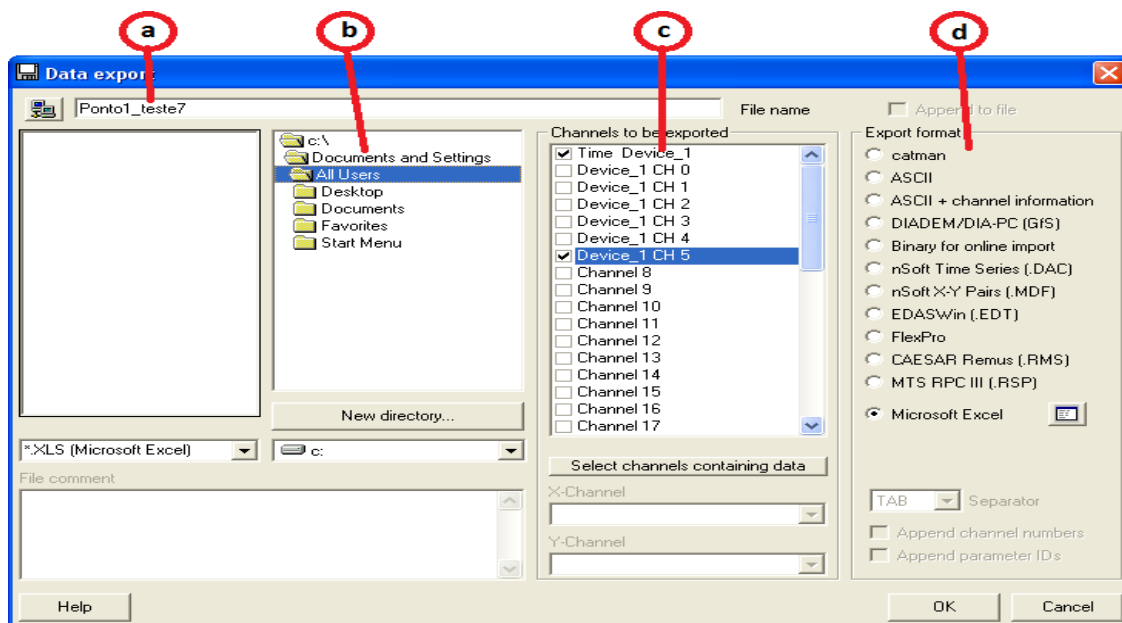


Figura B. 7: Janela de configuração do ficheiro a guardar.

- 8) No caso de se pretender realizar um novo ensaio, repetir o procedimento a partir do passo 6.

Apêndice C

Desenhos de definição das peças fabricadas para a máquina de ensaios de atrito.

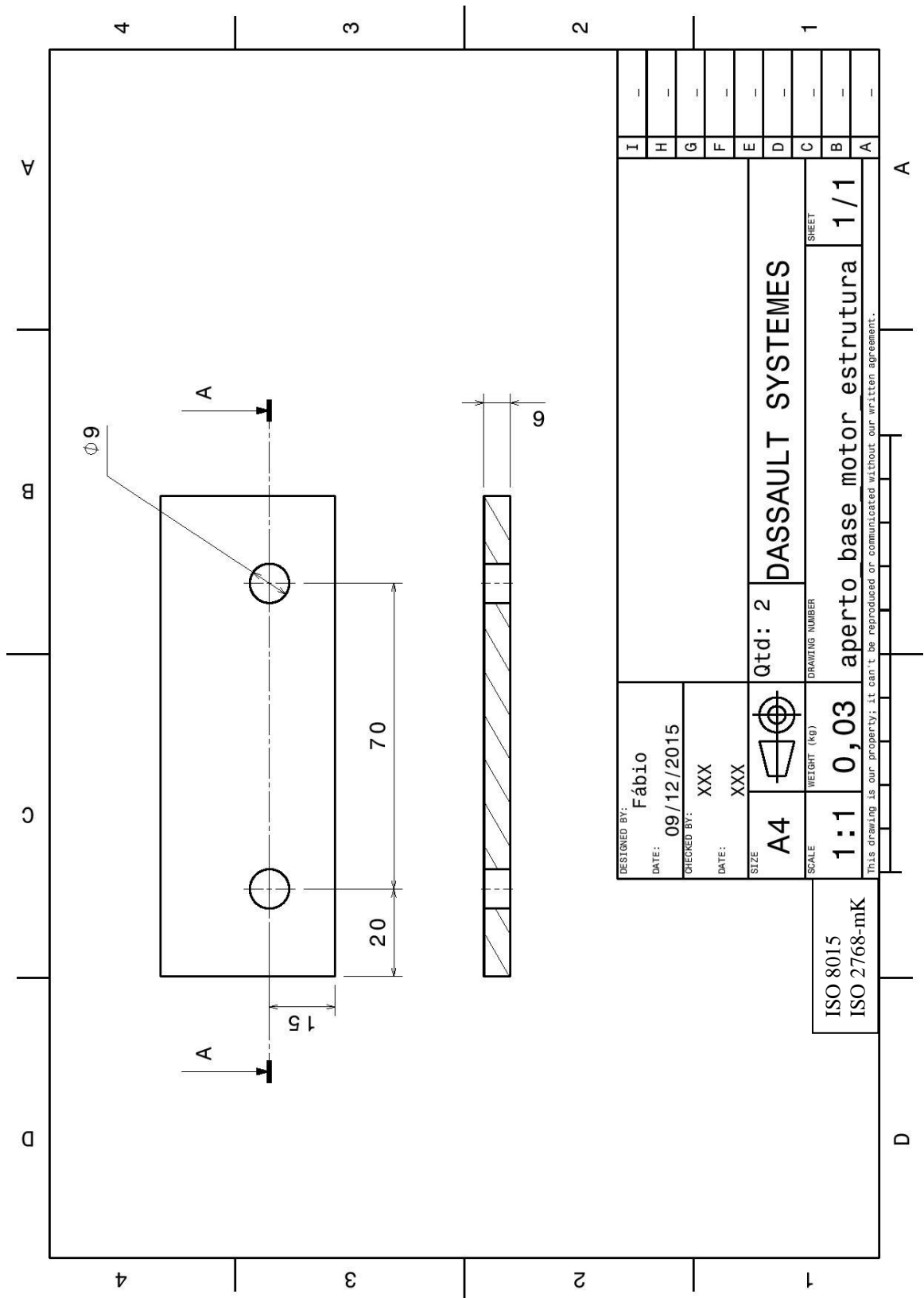


Figura C. 1: Apoios de aberto da base do motor.

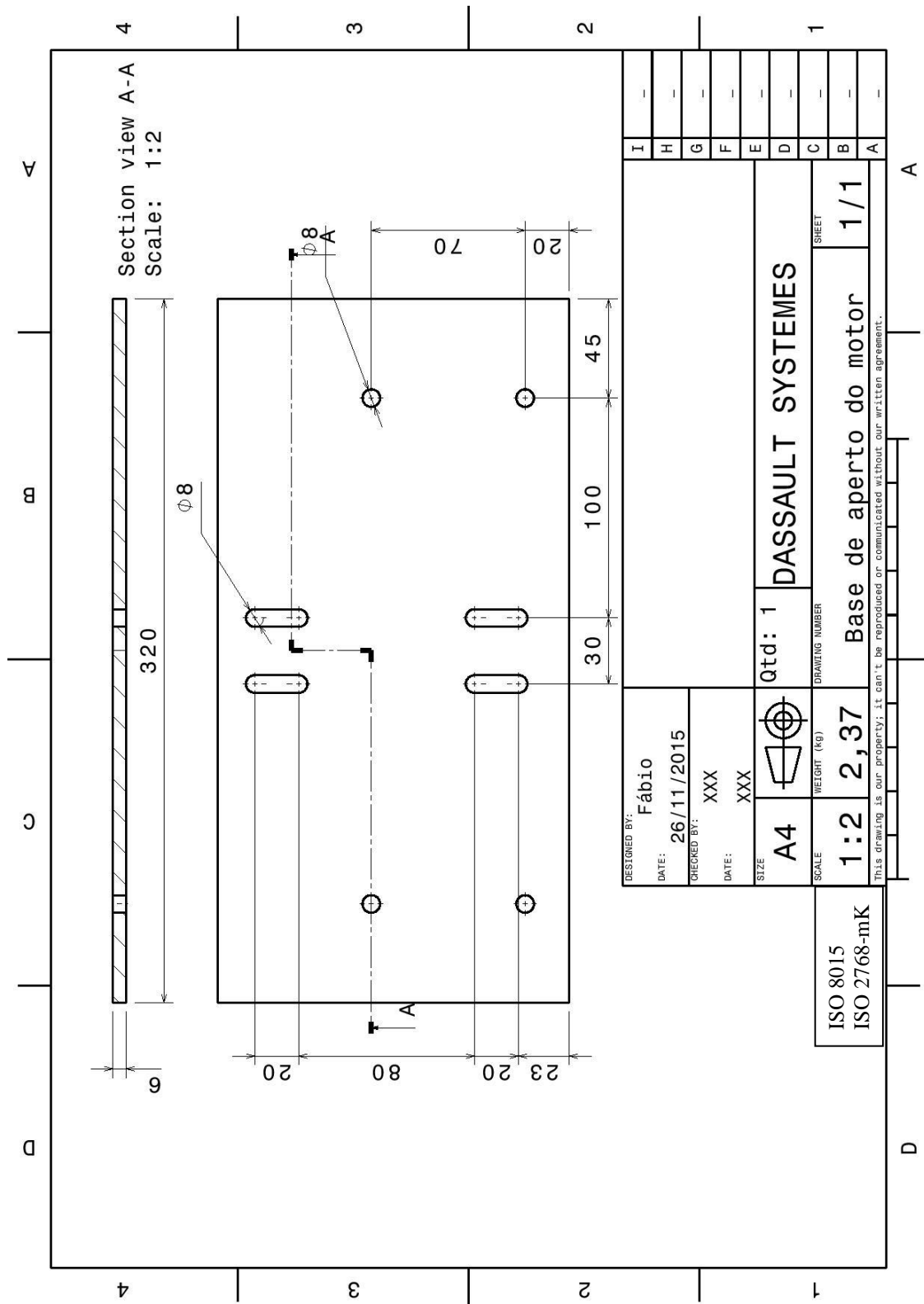


Figura C. 2: Base de aperto do motor.

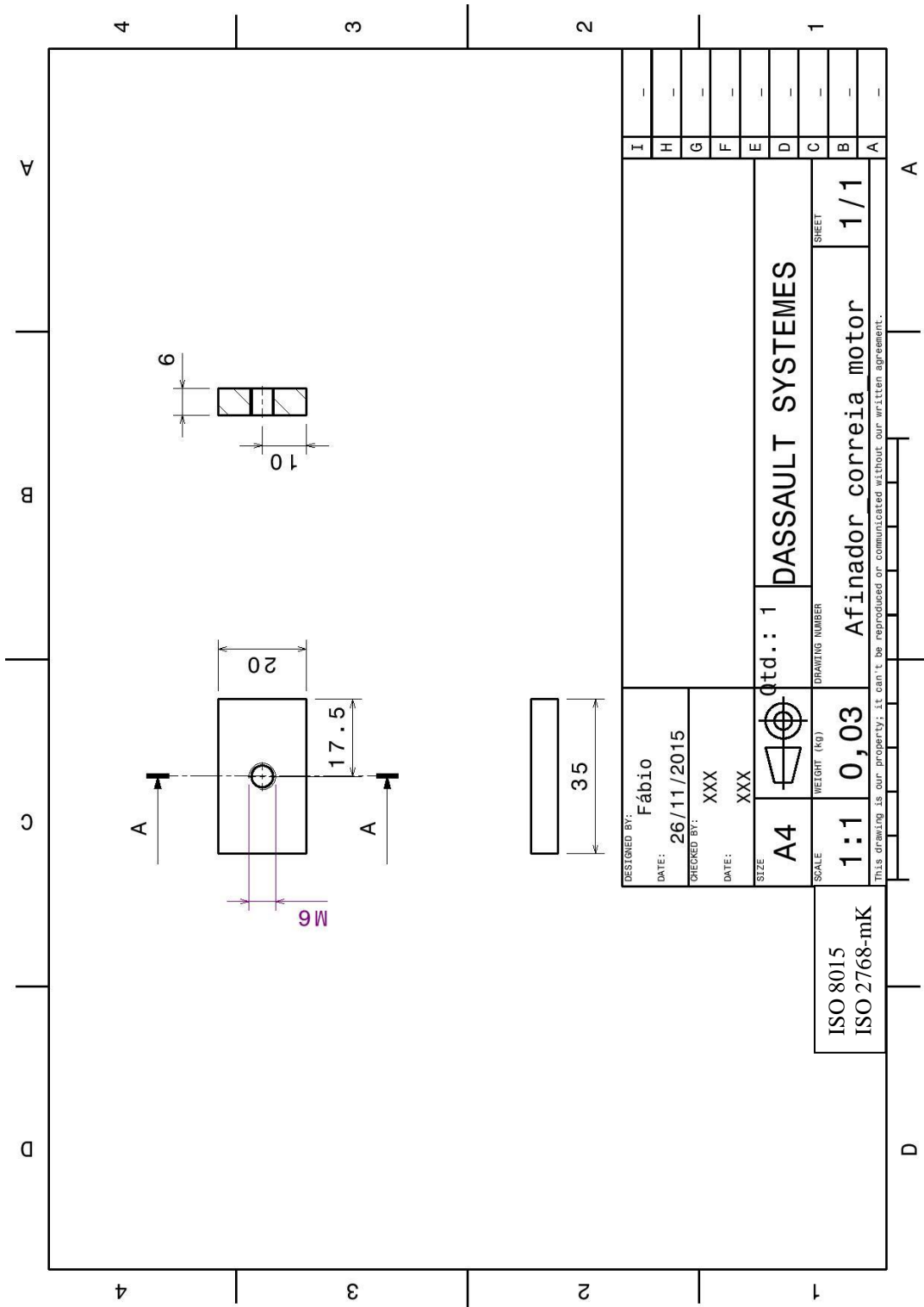


Figura C. 3: Afinador da correia do motor.

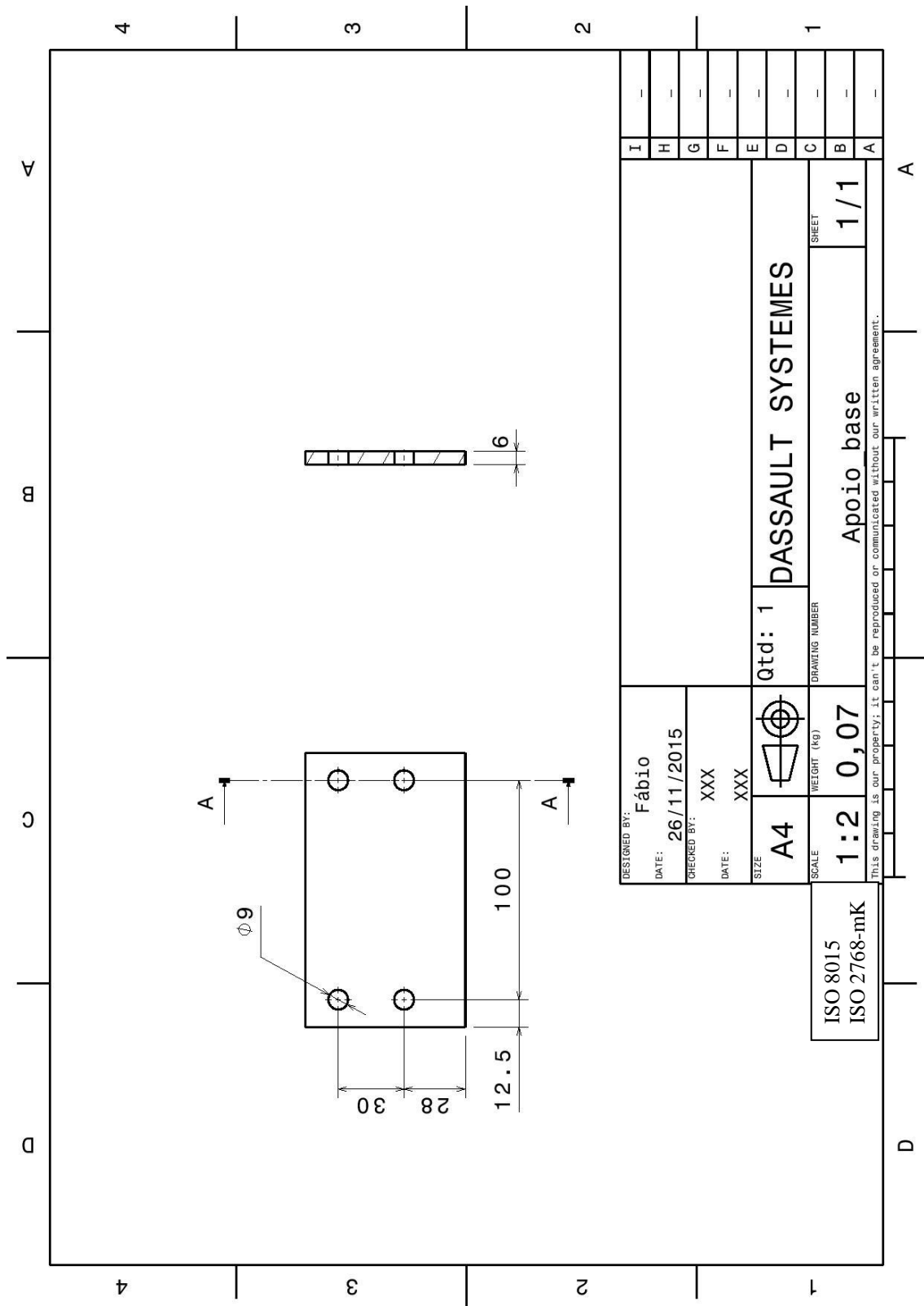


Figura C. 4: Base do apoio do motor.

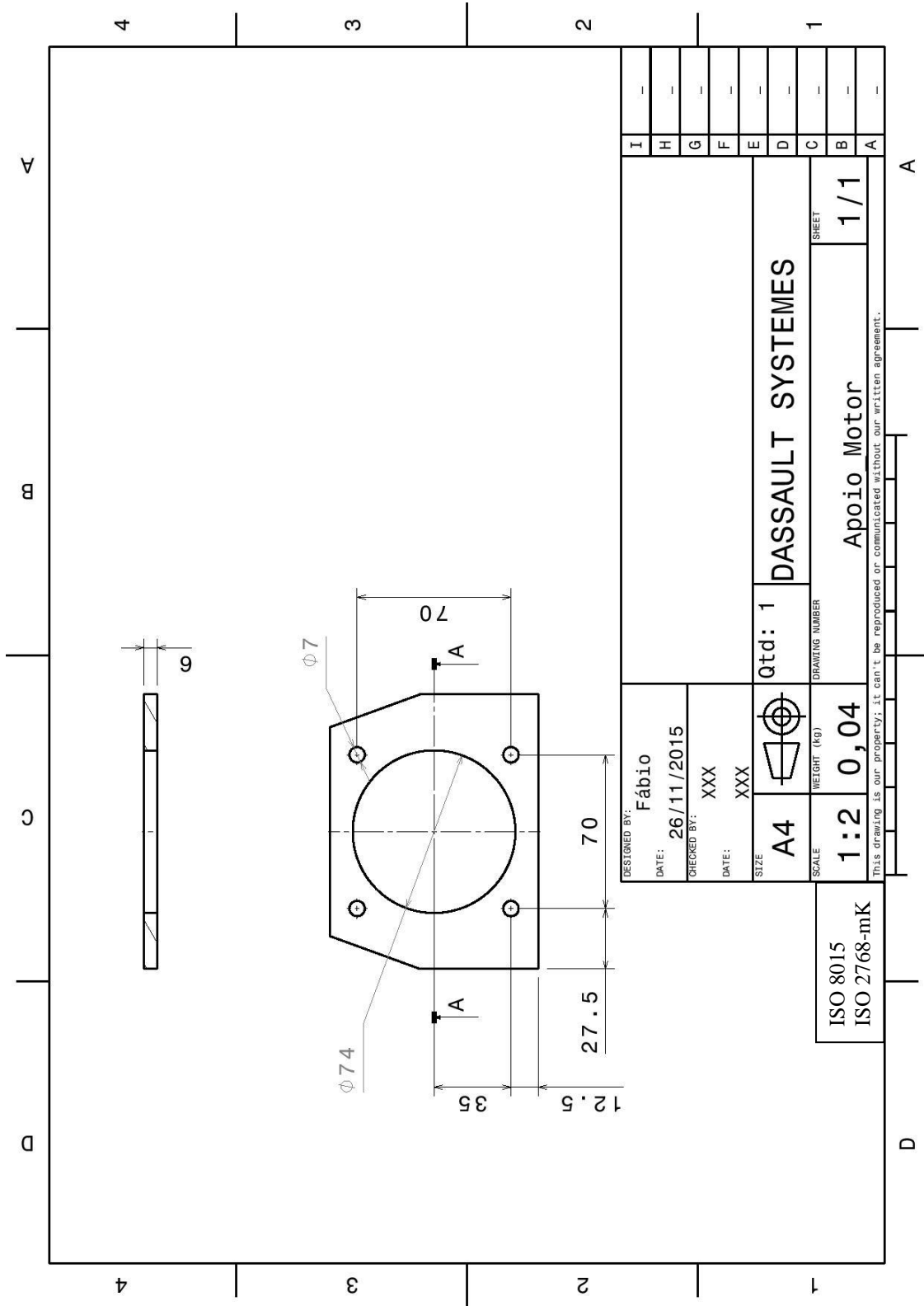
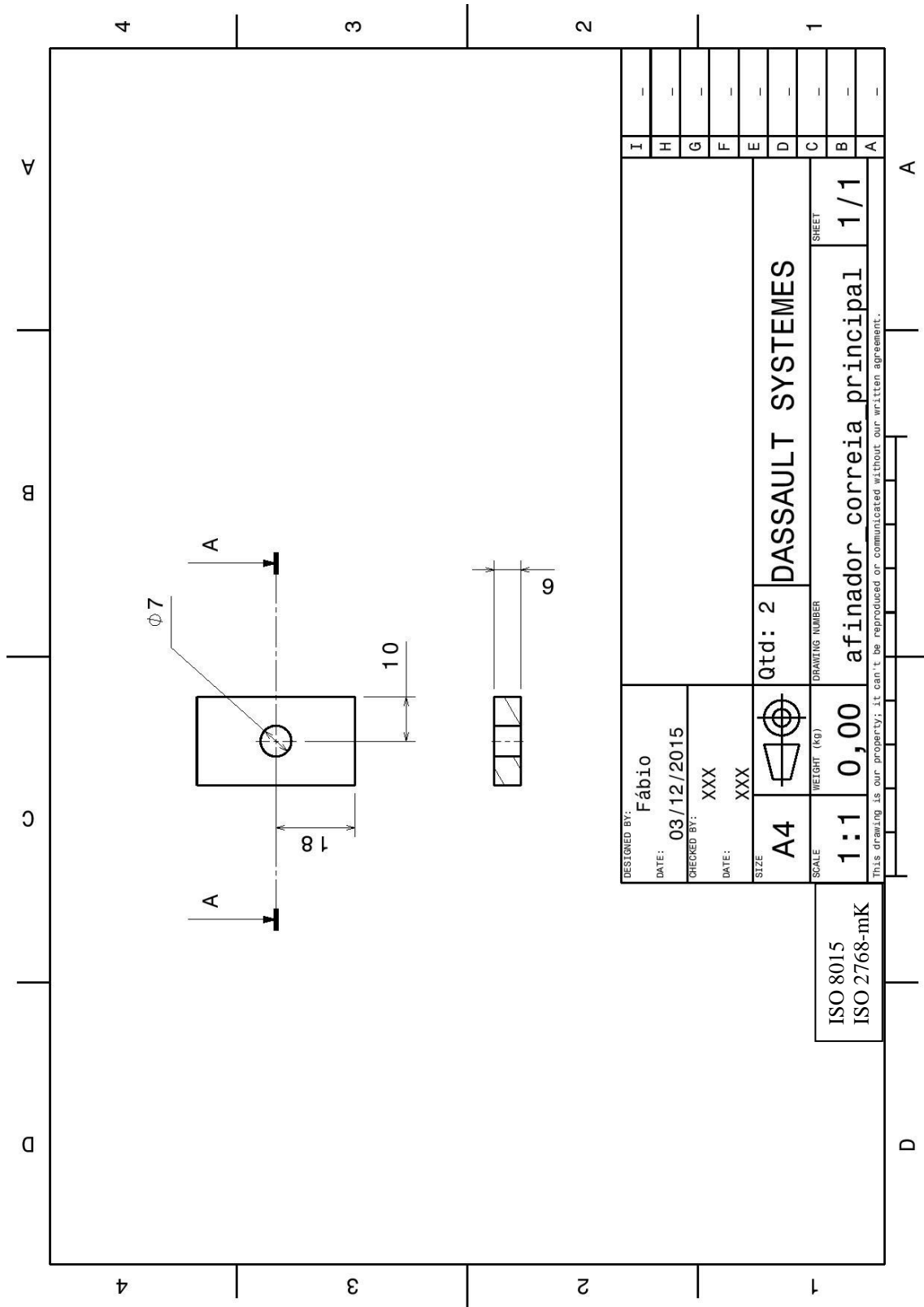


Figura C. 5: Flange de aperto do motor.



DESIGNED BY:	Fábio		Qtd: 2	DASSAULT SYSTEMES
DATE:	03/12/2015			
CHECKED BY:	XXX			
DATE:	XXX			afinador correia principal
SIZE	A4	WEIGHT (Kg)	DRAWING NUMBER	SHEET
SCALE	1:1	0,00	1/1	1/1

ISO 8015
ISO 2768-mK

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

Figura C. 6: Chapa de afinação da correia transportadora.

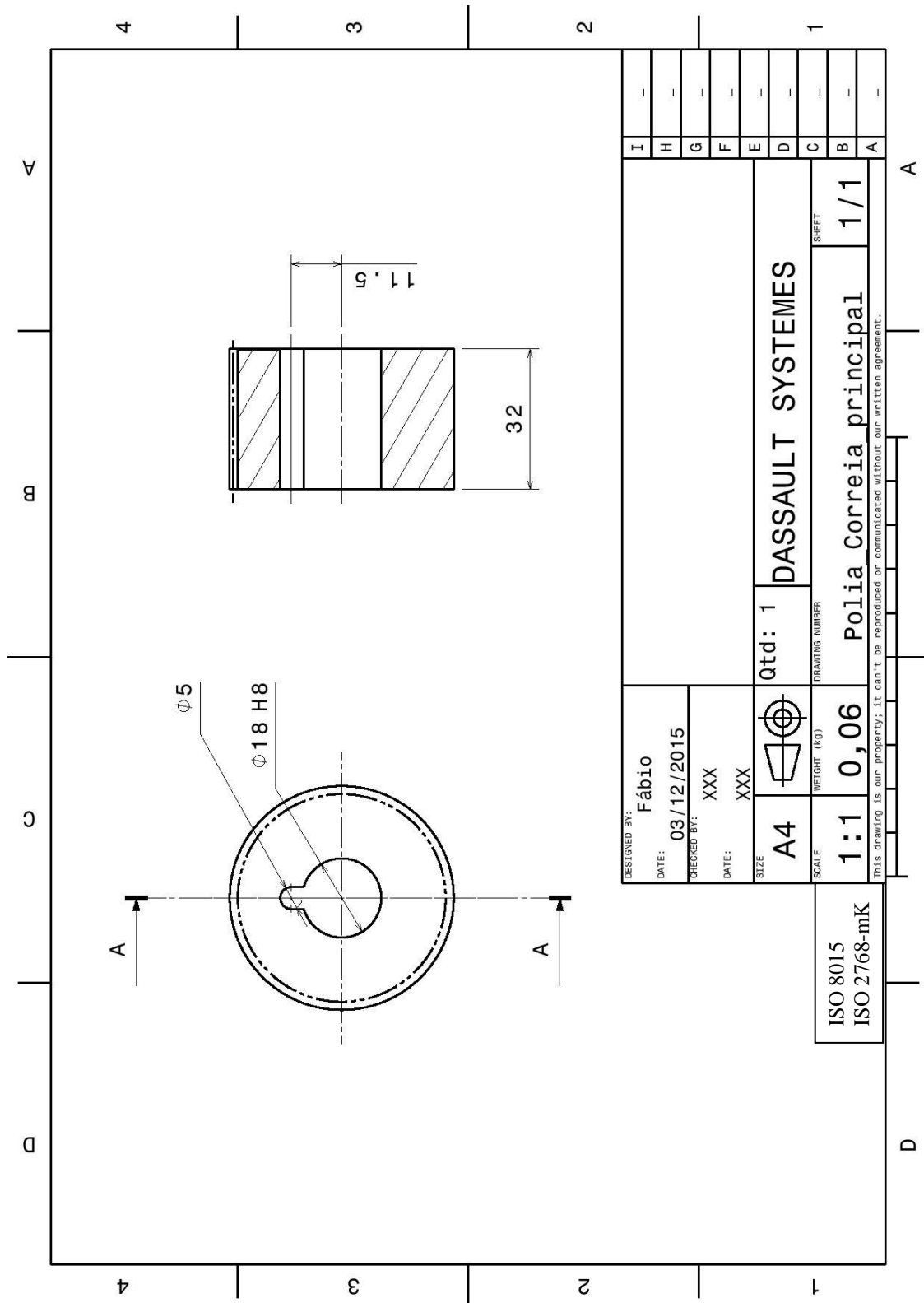


Figura C. 7: Furo e escatel maquinado na polia da correia transportadora.

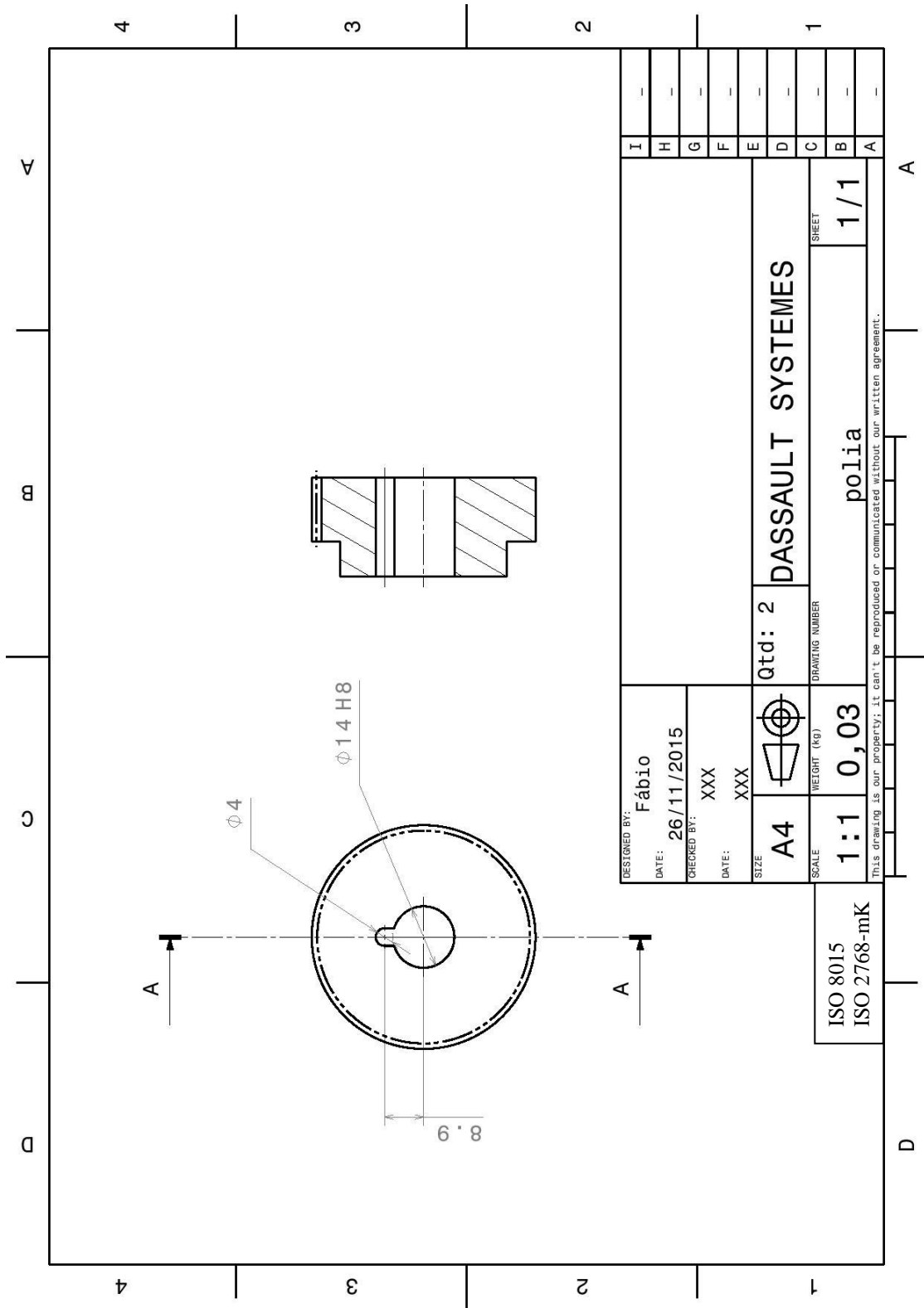


Figura C. 8: Furo e escatel maquinado nas polias da correia de transmissão de potência.

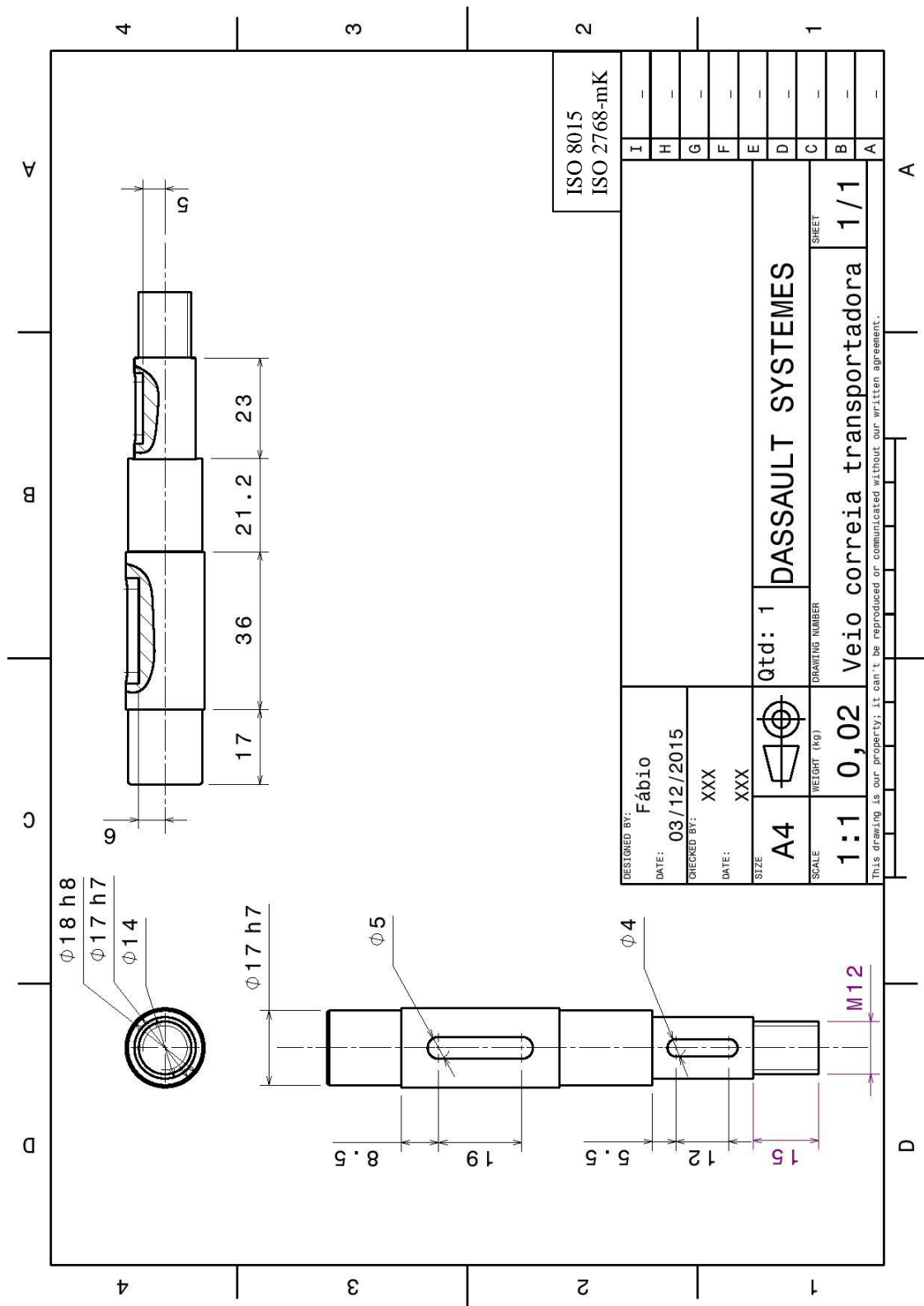


Figura C. 9: Veio fabricado para montagem da polia da correia transportadora e da polia de transmissão de potência.

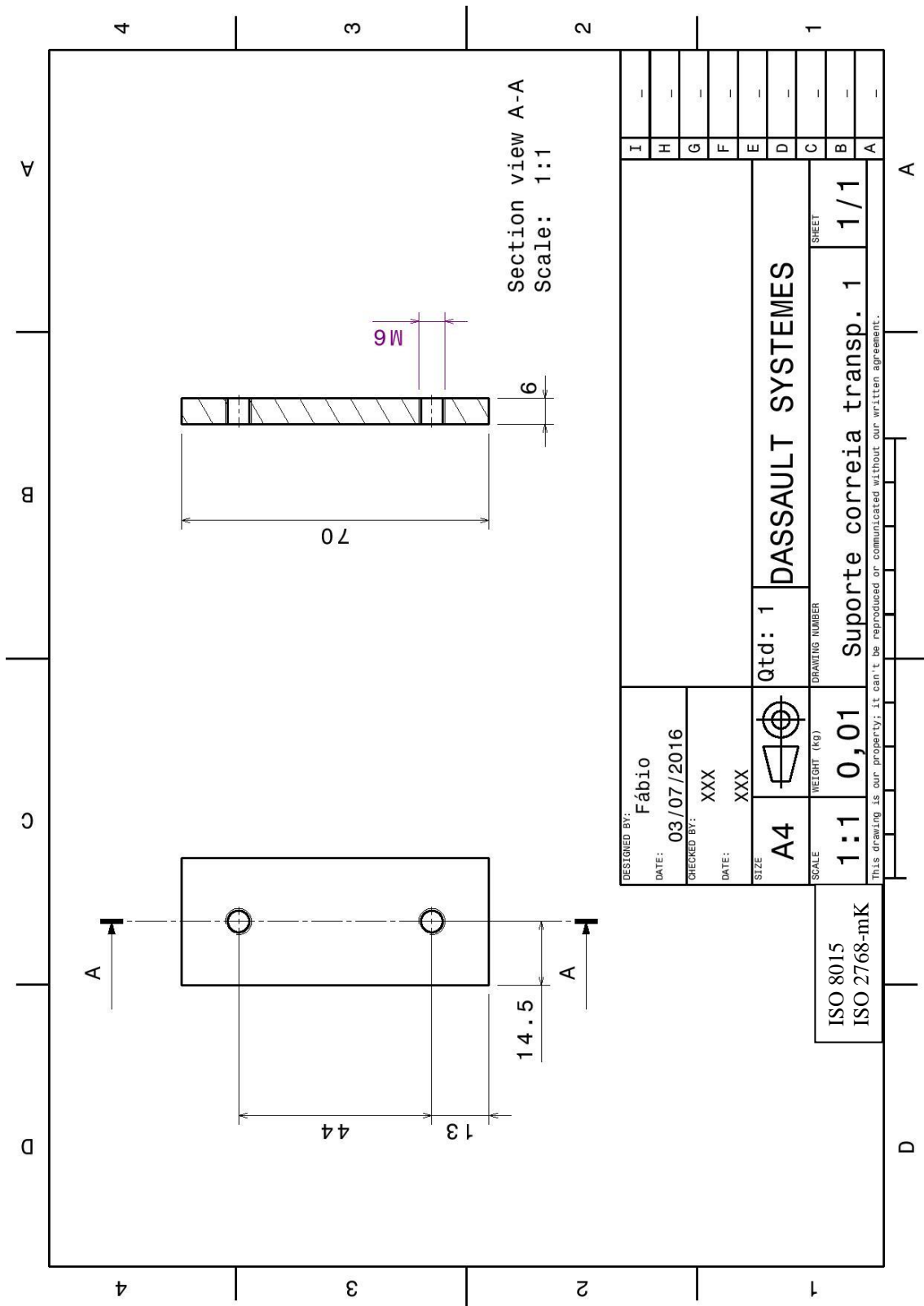


Figura C. 10: Suporte da correia transportadora.

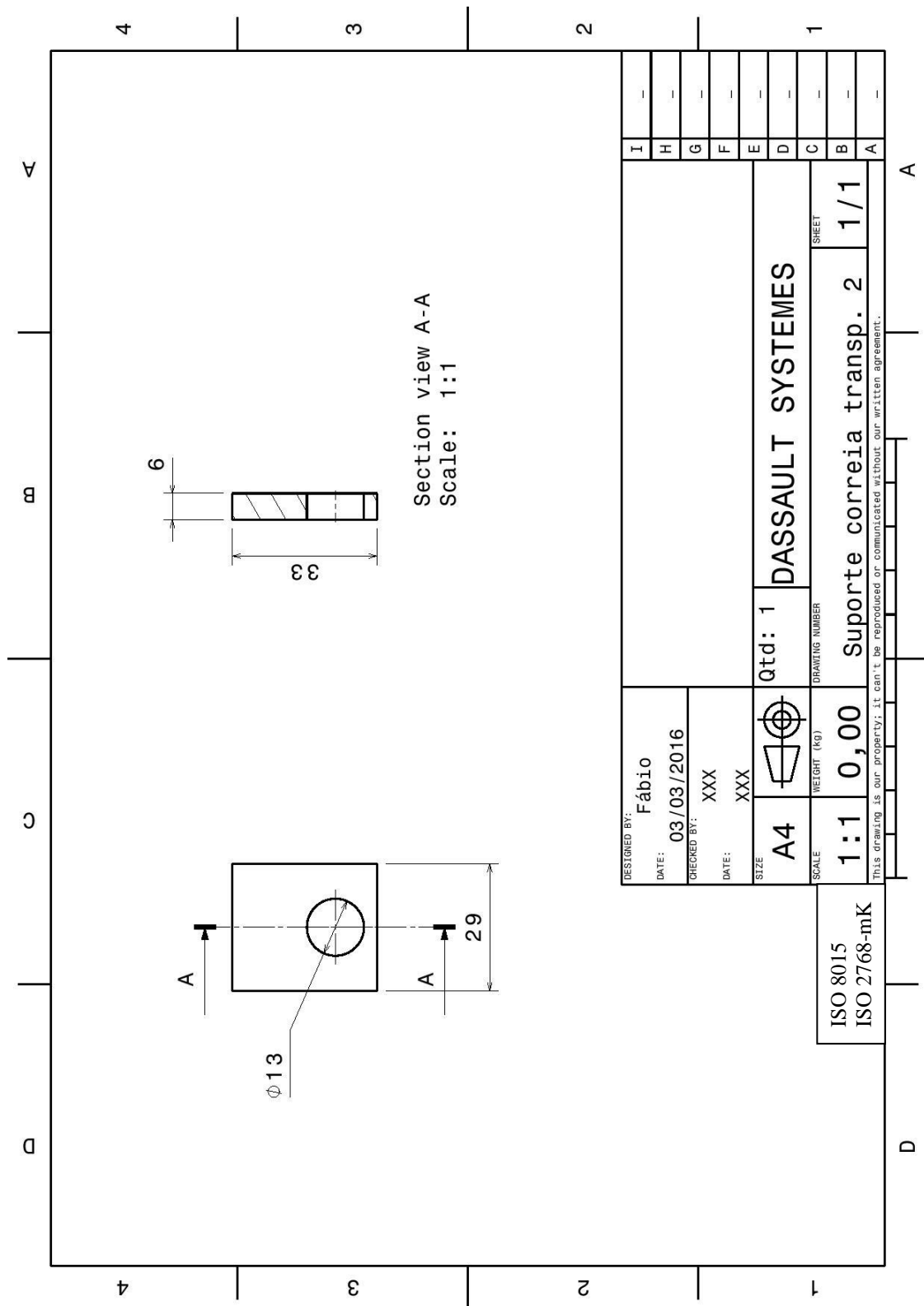


Figura C. 11: Suporte da correia transportadora.

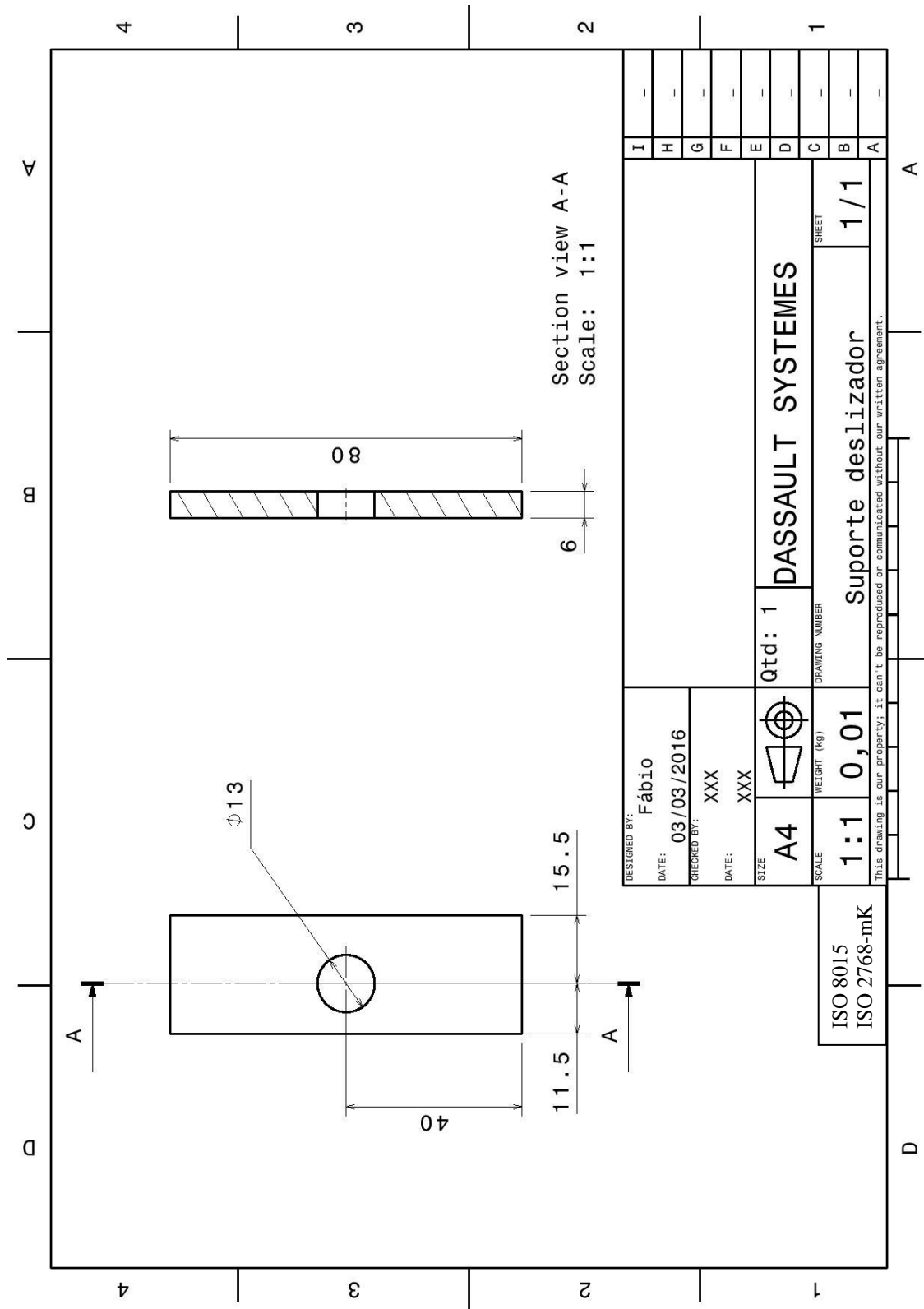


Figura C. 12: Suporte do deslizador.

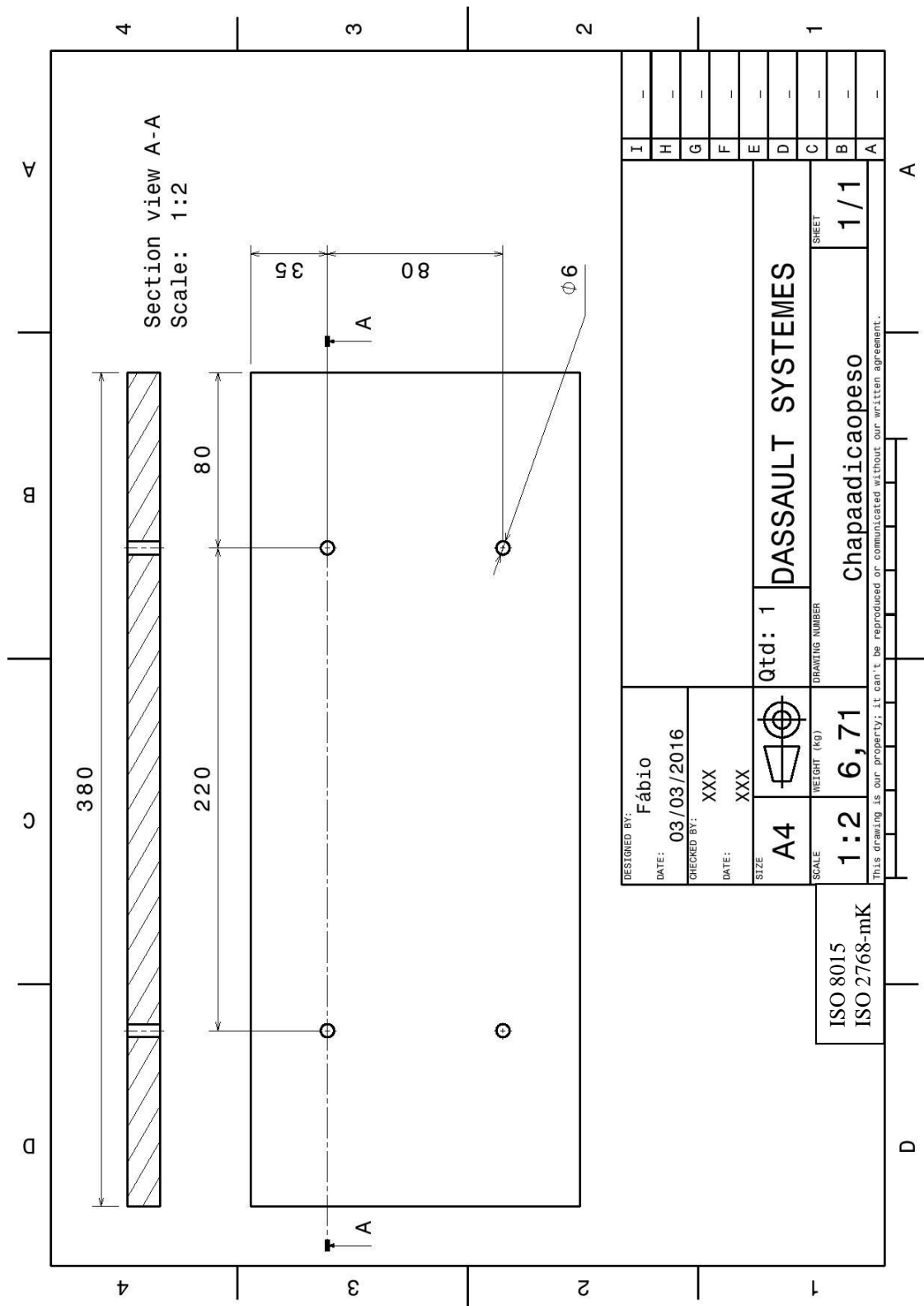


Figura C. 13: Chapa de adição de peso do deslizador.

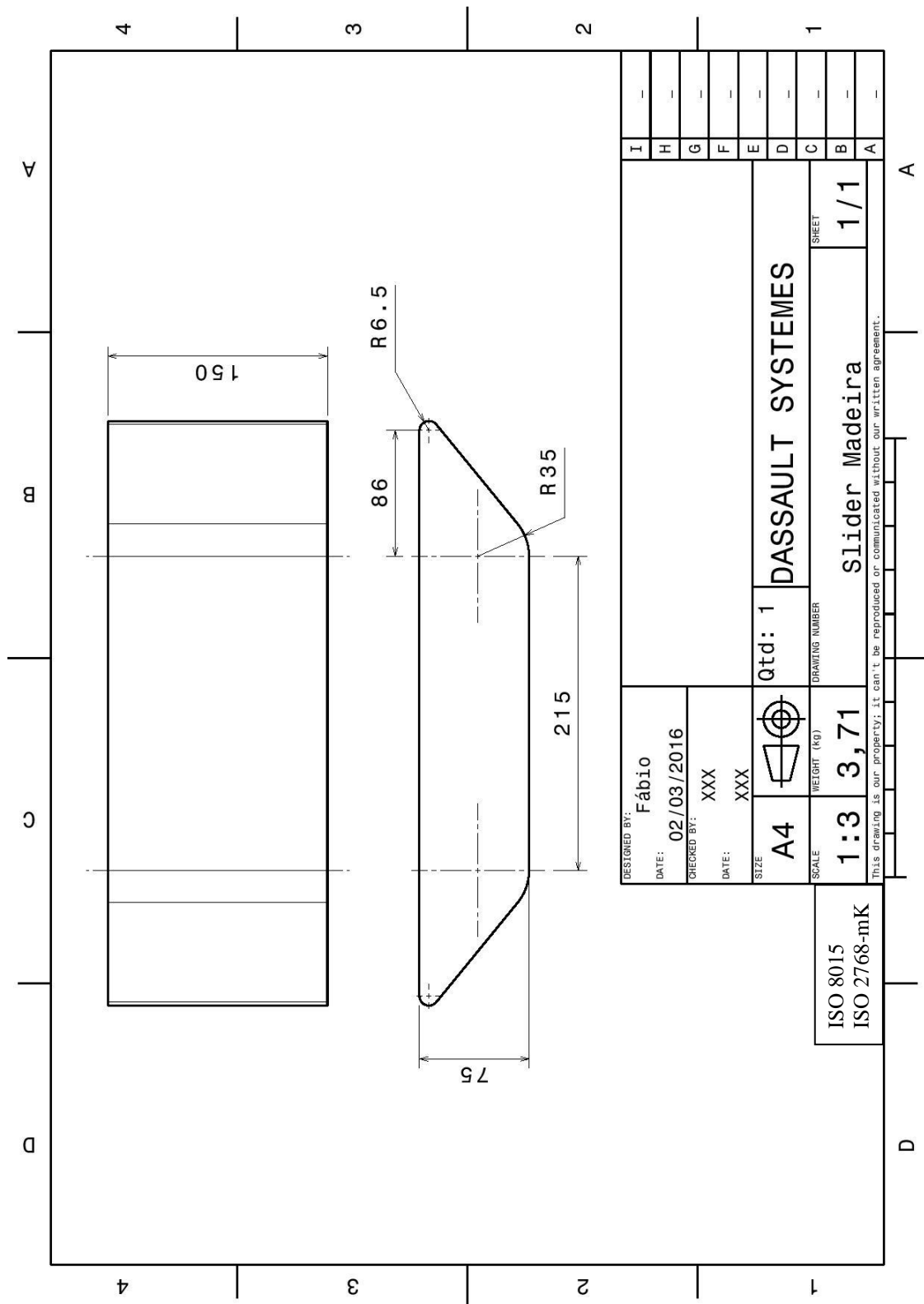


Figura C. 14: Deslizador.

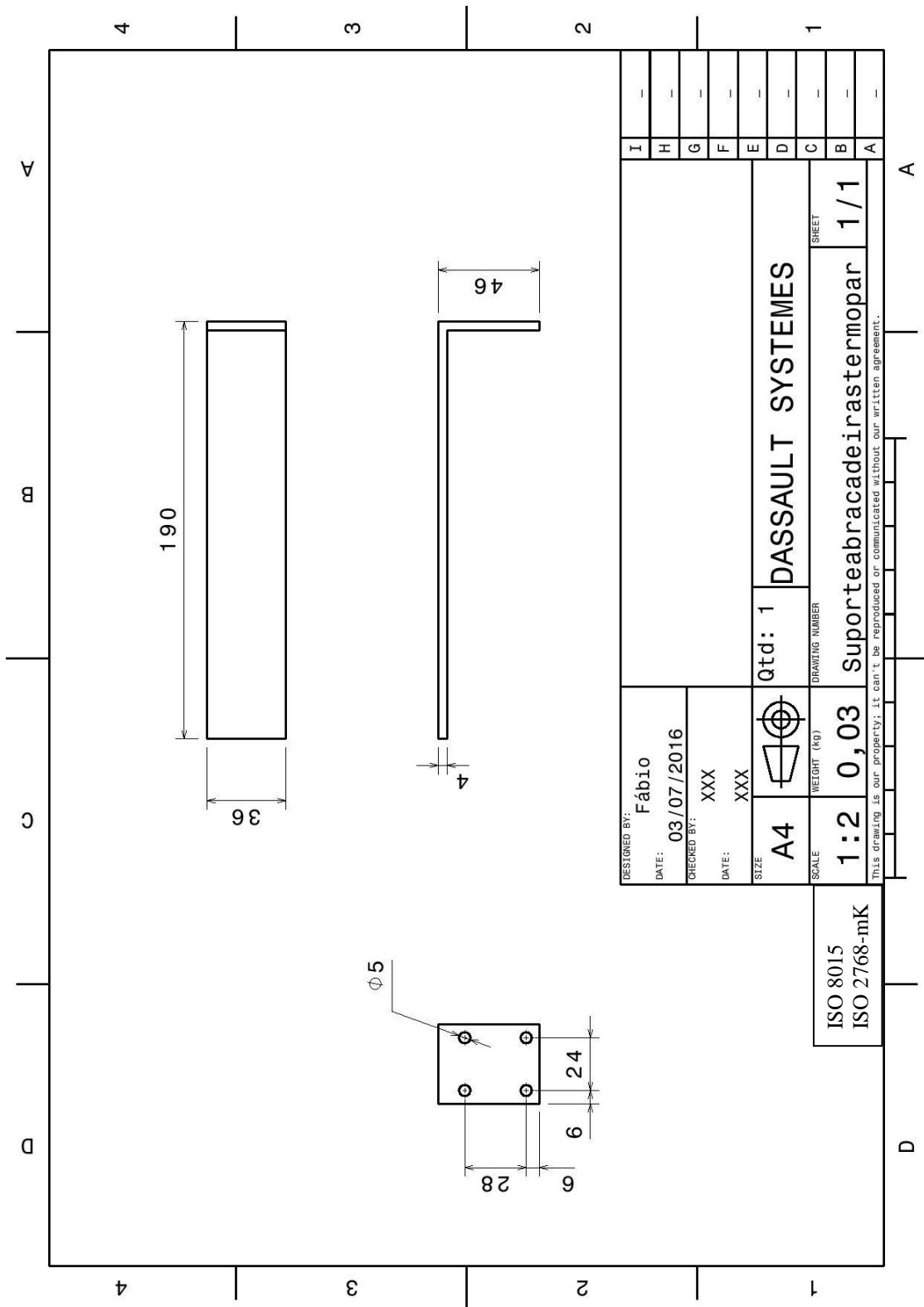


Figura C. 15: Suporte das abraçadeiras do termopar.

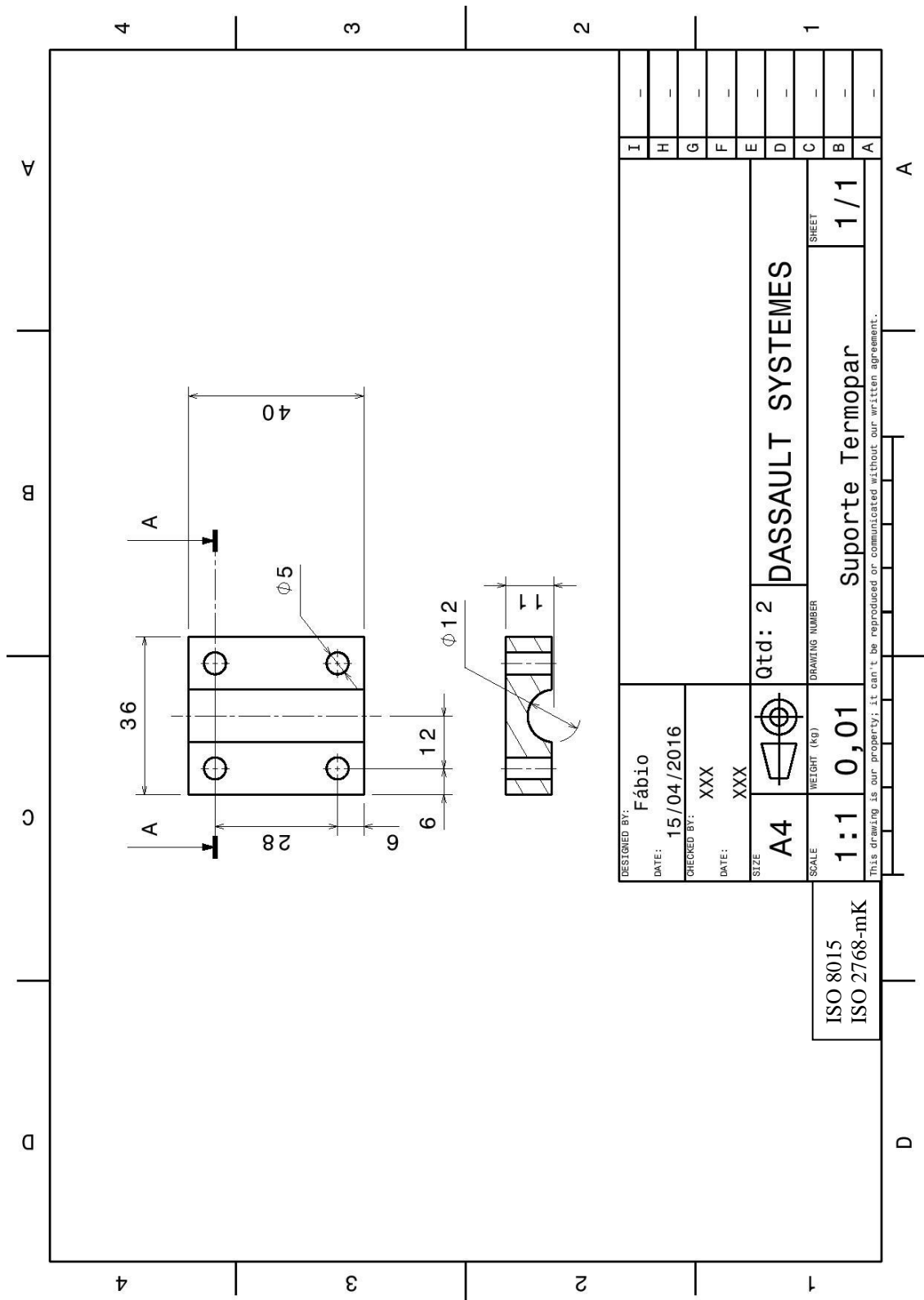


Figura C. 16: Abraçadeiras de suporte do termopar.

Apêndice D

Código Arduino de controlo do motor passo-a-passo da máquina de ensaios de atrito.

```

void setup() {
  //Serial.begin(9600);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop() {

  int dl=85;
  int countdec;

  for (int j=1; j <= 5; j++){

    int cc=0;
    int dt1=335;
    int dt2=85;
    int dt3=335;
    int dt4=85;

    for (countdec=1;countdec<=1009;countdec++){

      digitalWrite(13, HIGH);
      delayMicroseconds(5);
      digitalWrite(13, LOW);
      delayMicroseconds(dt1);
      cc++;

      if (cc==8){
        dt1=dt1-2;
        cc=0;
      }
    }

    for (int i=0; i <= 18167; i++){

      digitalWrite(13, HIGH);
      delayMicroseconds(5);
      digitalWrite(13, LOW);
      delayMicroseconds(dl);
    }

    cc=0;

    for (countdec=1;countdec<=1009;countdec++){

      digitalWrite(13, HIGH);
      delayMicroseconds(5);
      digitalWrite(13, LOW);
      delayMicroseconds(dt2);
      cc++;

      if (cc==8){
        dt2=dt2+2;
        cc=0;
      }
    }

    cc=0;
  }
}

```

```

//direita

for (countdec=1;countdec<=1009;countdec++){

    digitalWrite(8, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(8, LOW);
    delayMicroseconds(dt3);
    cc++;

    if (cc==8){
        dt3=dt3-2;
        cc=0;
    }
}

for (int i=0; i <= 18167; i++){

    digitalWrite(8, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(8, LOW);
    delayMicroseconds(d1);
}

for (countdec=1;countdec<=1009;countdec++){

    digitalWrite(8, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(8, LOW);
    delayMicroseconds(dt4);
    cc++;

    if (cc==8){
        dt4=dt4+2;
        cc=0;
    }
}

cc=0;

}

while(1 == 1){
}

}

```


Apêndice E

Desenhos de definição das peças fabricadas para a realização dos testes de dureza da borracha do Deslizador.

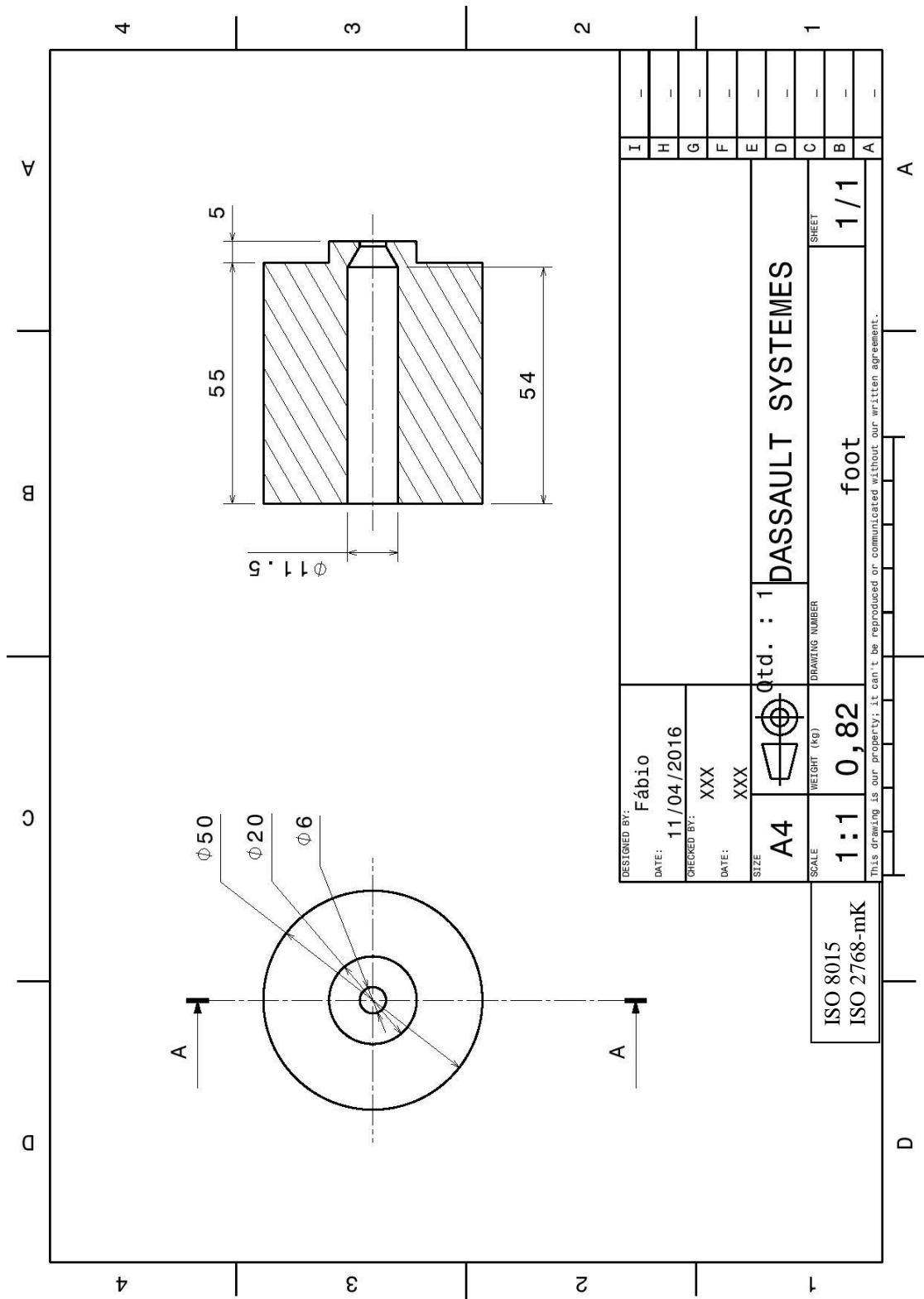


Figura E. 1: Pé.

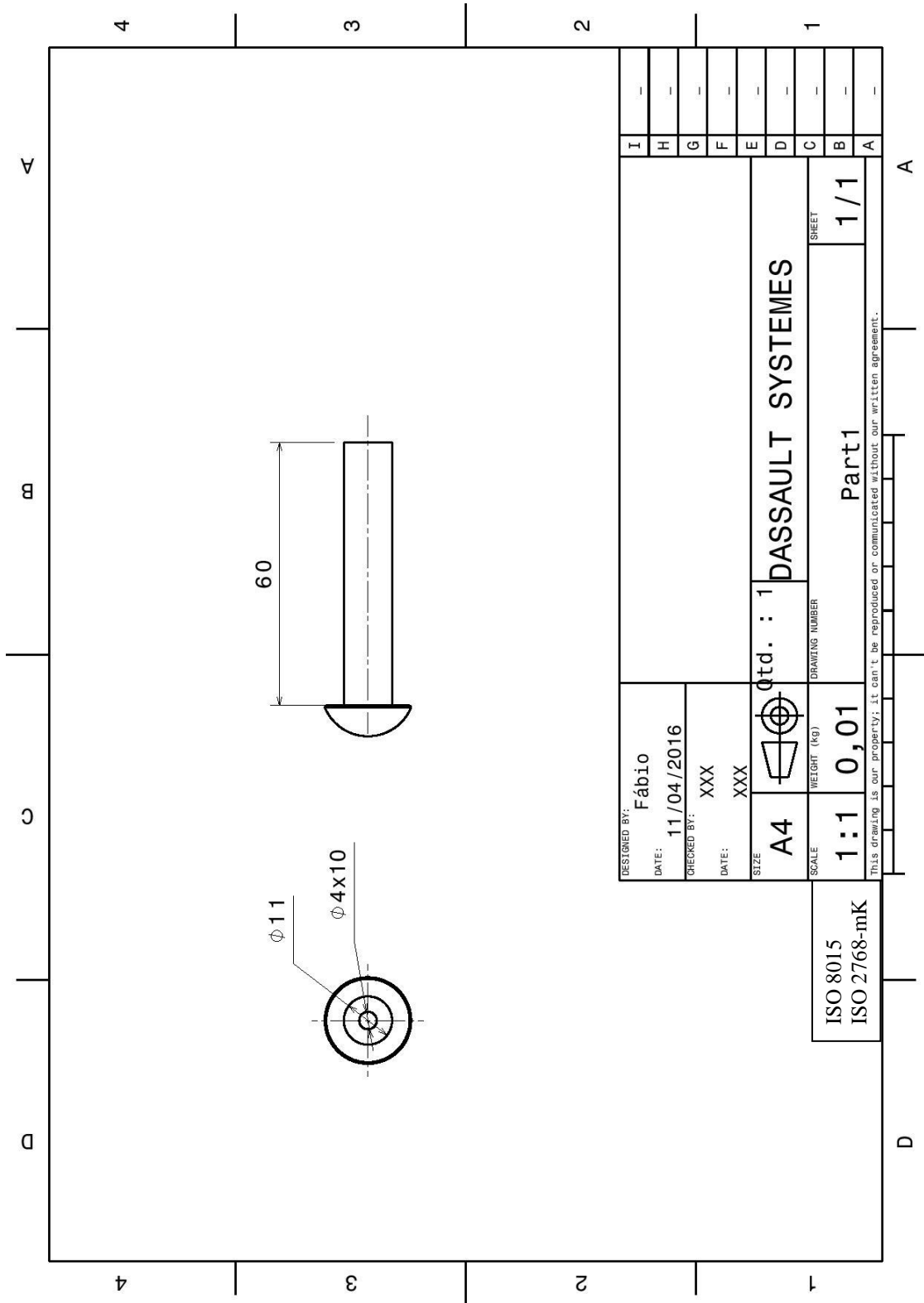


Figura E. 2: Suporte do indentedor.

Apêndice F

Aplicação LabVIEW para leitura simultânea da força e temperatura.

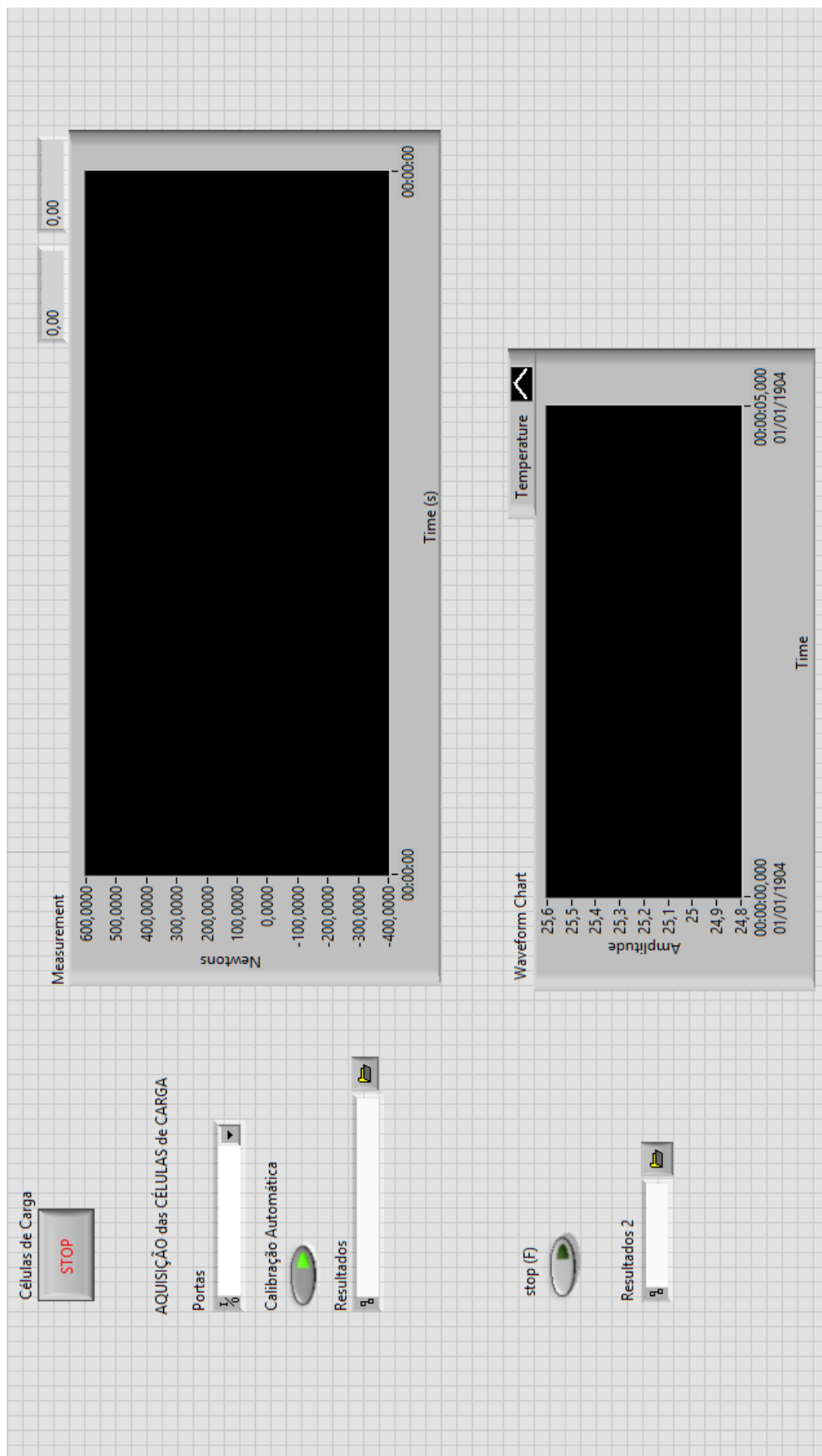


Figura F. 1: Interface gráfica da aplicação desenvolvida.

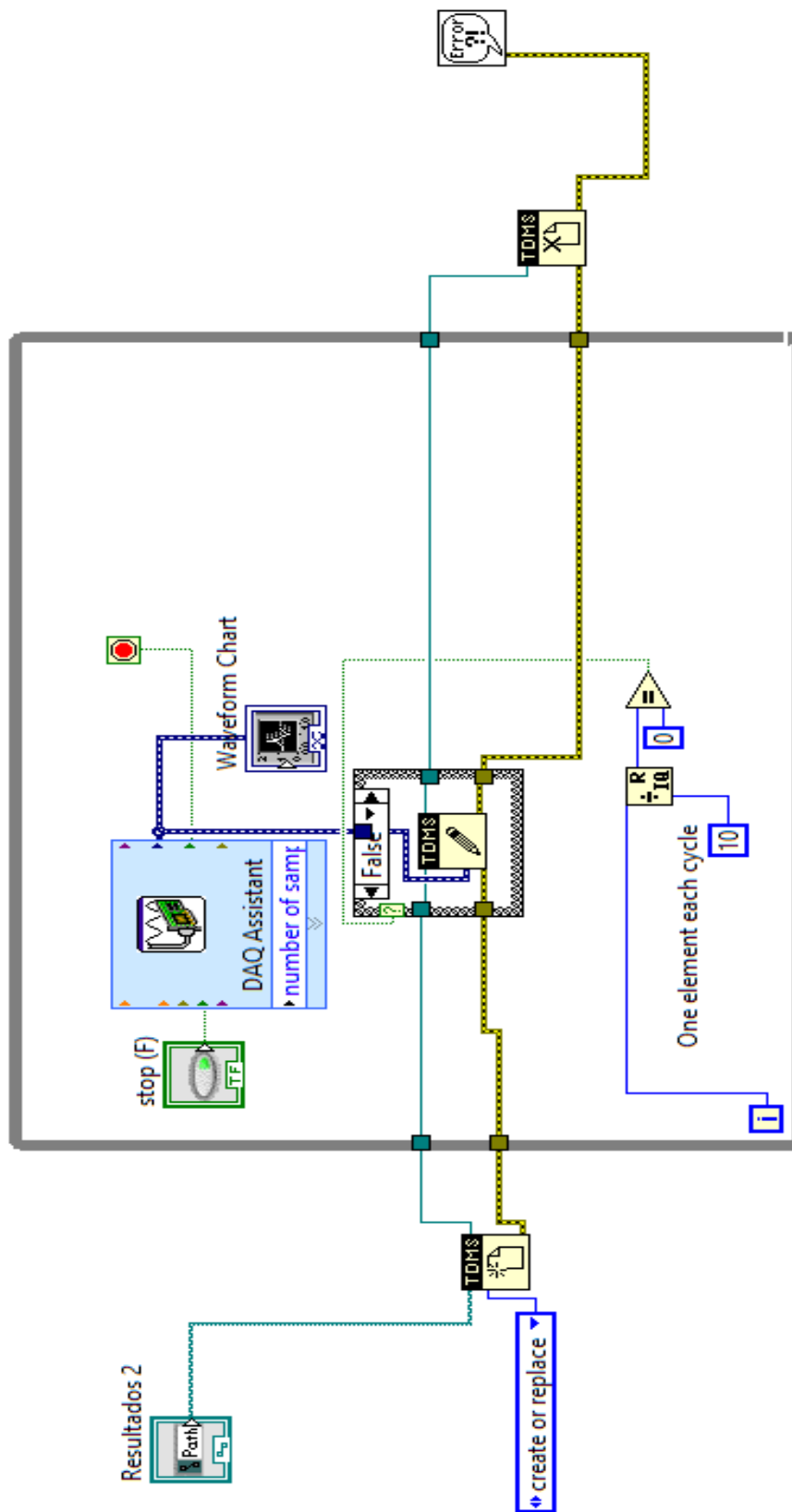


Figura F. 3: Programa de leitura do termopar.

Apêndice G

Programa Matlab desenvolvido para tratamento automático dos dados relativos aos ensaios de impacto.

```

clear all;close all;clc;
    contadordelinhas=1;
for r=1:17

str=sprintf('Ponto%d',r);
fold='C:\Users\Fábio\Desktop\UA\2016\Dissertação\Dadosese\TestesSpider23_03\Colchao5\';
folder=strcat(fold,str);
filetype='*.xls'; % or xlsx
f=fullfile(folder,filetype);
d=dir(f);

for k=1:numel(d);
% data{k}=xlsread(fullfile(folder,d(k).name));
    if k==2
        data{10}=xlsread(fullfile(folder,d(k).name));
        continue
    end

    if k==1
        data{1}=xlsread(fullfile(folder,d(k).name));
    else
        data{k-1}=xlsread(fullfile(folder,d(k).name));
    end
end

end

fold2='C:\Users\Fábio\Desktop\UA\2016\Dissertação\Dadosese\TestesLabview23_03\Colchao5\';
str2='\excel';
folder2=strcat(fold2,str,str2);
filetype2='*.xls'; % or xlsx
f2=fullfile(folder2,filetype2);
d2=dir(f2);
for k2=1:numel(d2);
    if k2==1
        data2{10}=xlsread(fullfile(folder2,d2(k2).name),2);
    else
        data2{k2-1}=xlsread(fullfile(folder2,d2(k2).name),2);
    end
end
end

X=data{1};
Zero=X(6,5);
Pencos=X(7,5);

filename = 'ResultadoColchão5111.xlsx';
cab={'Ressalto' 'Afundamento' 'Força' 'Min medido' 'Max medido' 'Medida
Peso+deformação ref. A' 'Afundamento devido ao peso em relação ao zero'
'Afundamento devido ao peso + deformação relativamente ao zero'
'Afundamento ref.A' 'Ressalto ref A' 'Afundamento relativamente ao peso
encostado' 'Ressalto relativamente ao peso encostado' };
cab={'Max medido' 'Min medido' 'Força' 'Ressalto' 'Deflexão' 'Deflexão
devido ao peso ref A' 'Ressalto relativamente a A' 'Deflexão

```

```

relativamente a A' 'Deflexão no final do teste ref B' 'Ressalto
relativamente a B' 'Deflexão relativamente a B'};
cab2={'Ressalto' 'Deflexão' 'Força' 'Zero' ' ' 'A1' 'Deflexão A1'
'Ressalto A1' ' ' 'A2' 'Deflexão A2' 'Ressalto A2'};
for n=1:numel(d)

    c=1;
    A=data{n};
    B=data2{n};
    i0=Zero*ones(size(A,1),1);
    if n==1
        subplot(2,2,contadordelinhas);
        plot(A(:,1),A(:,3))
        axis square;
        titulo=sprintf('Deslocamento: Ponto %d , teste %d',r,n);
        title(titulo);
        xlabel('Tempo (s)');
        ylabel('Altura (mm)');
        %save2word('colchao4.doc')
        %close all
        titulo=sprintf('Força: Ponto %d , teste %d',r,n);
        variavelx=size(B,1)/2500;
        variavelgraf=linspace(0,variavelx,size(B,1));
        %variavelgraf=variavelgraf/2500;
        contadordelinhas=contadordelinhas+1;
        subplot(2,2,contadordelinhas);
        plot(variavelgraf,B(:,1));
        axis square;
        title(titulo);
        ylabel('Força (N)');
        xlabel('Tempo (s)');
        contadordelinhas=contadordelinhas+1;
    end

    if contadordelinhas==5
        save2word('colchao51.doc')
        close all
        contadordelinhas=1;
    end

    % Afundamento
    [minimo, indice]=min(A(:,3));
    res{n,3}=minimo;
    res{n,6}=Zero-minimo;
    medafu(n)=res{n,6};
    % Ressalto
    [maximo, indicemax]=max(A(indice:end,3));
    res{n,5}=maximo-Zero;
    res{n,2}=maximo;
    medress(n)=res{n,5};
    % Força
    res{n,4}=min(B(:,1));
    str=sprintf('Teste %d',n);
    res{n,1}=str;
    medfor(n)=res{n,4};

    for rrr=size(A,1)-101:size(A,1)-1

```

```

    if (abs(A(rrr,3)-A(rrr+1,3))<2)

        if rrr==size(A,1)-1
            %res{n,7}=mean(A(end-100:end,3));
            zfinal(n)=mean(A(end-100:end,3));
        end
    else
        zfinal(n)=0;
        break;
    end
end
end
zg(n)=Zero-zfinal(n);
% deslocamento devido ao peso
res{n,7}=Zero-Pencos;
zp(n)=res{n,7};
% Afundamento relativamente à medida do peso encostado
res{n,9}=Pencos-minimo;
medafupenc(n)=res{n,9};
% Ressalto relativamente à medida do peso encostado
res{n,8}=maximo-Pencos;
medrespenc(n)=res{n,8};
if zfinal(n)>0
res{n,10}=Zero-zfinal(n);
% Afundamento relativamente ao zero final
res{n,12}=zfinal(n)-minimo;

% Ressalto relativamente ao zero final
res{n,11}=maximo-zfinal(n);

else
    res{n,10}=0;
    res{n,11}=0;
    res{n,12}=0;
end

medafugraf(n)=res{n,12};
medresgraf(n)=res{n,11};

clear A;
clear B;

end
res{11,1}='Média';
medafu=mean(medafu(3:10));
medress=mean(medress(3:10));
medfor=mean(medfor(3:10));
medafupenc=mean(medafupenc(3:10));
medrespenc=mean(medrespenc(3:10));
tu=1;
for ii=1:10

    if medafugraf(ii)>0
        medafugraf1(tu)=medafugraf(ii);
        tu=tu+1;
    end
end

```



```

        end
    end

    td=1;
    for ii=1:10
        if medresgraf(ii)>0
            medresgraf1(td)=medresgraf(ii);
            td=td+1;
        end
    end

    res{11,6}=medafu;
    res{11,5}=medress;
    res{11,4}=medfor;
    res{11,8}=medrespenc;
    res{11,9}=medafupenc;
    res{11,11}=mean(medresgraf1);
    res{11,12}=mean(medafugraf1);
    strzero=sprintf('Zero=%.2f',Zero);
    strPenc=sprintf('Afundamento devido ao peso=%.2f',Pencos);
    strponto=sprintf('Ponto %d',r);
    info={strponto strzero strPenc};
    xlswrite(filename,info,r+1,'A1');
    xlswrite(filename,cab,r+1,'C3');
    xlswrite(filename,res,r+1,'B4');
    zp1(r)=mean(zp);
    zg1(r)=mean(zg);
    mediaaafupenc(r)=medafupenc;
    mediarespenc(r)=medrespenc;
    mediaafugraf(r)=mean(medafugraf1);
    mediaresgraf(r)=mean(medresgraf1);
    mediaafun(r)=medafu;
    mediaressal(r)=medress;
    mediaforca(r)=medfor;
    zero(r)=Zero;
    mediazerofinal(r)=mean(zfinal);

end

for n=1:17
    str=sprintf('Ponto %d',n);
    prim{n,1}=str;
    prim{n,3}=mediaafun(n);
    prim{n,2}=mediaressal(n);
    prim{n,4}=mediaforca(n);
    prim{n,5}=zero(n);
    %prim{n,6}=mediazerofinal(n);
    prim{n,7}=zp1(n);
    prim{n,8}=mediaaafupenc(n);
    prim{n,9}=mediarespenc(n);
    prim{n,11}=zg1(n);
    prim{n,12}=mediaafugraf(n);
    prim{n,13}=mediaresgraf(n);
end
prim{18,1}='Media';
prim{18,3}=mean(mediaafun(:));
prim{18,2}=mean(mediaressal(:));
prim{18,4}=mean(mediaforca(:));

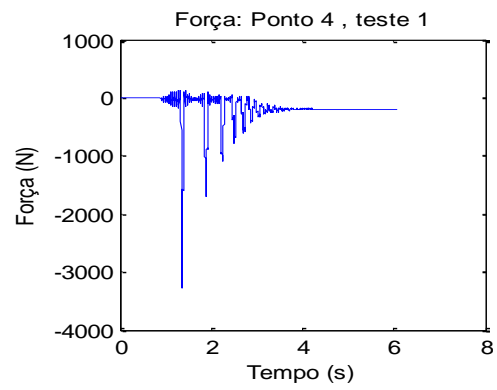
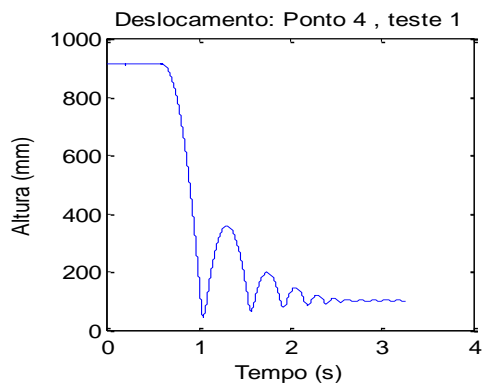
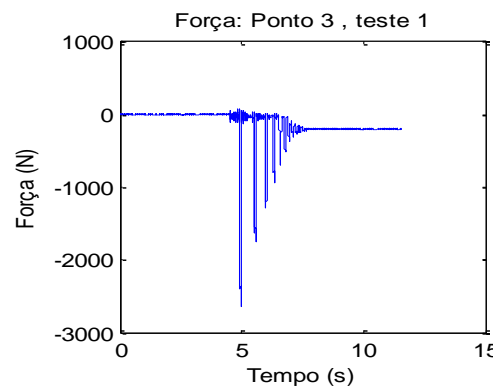
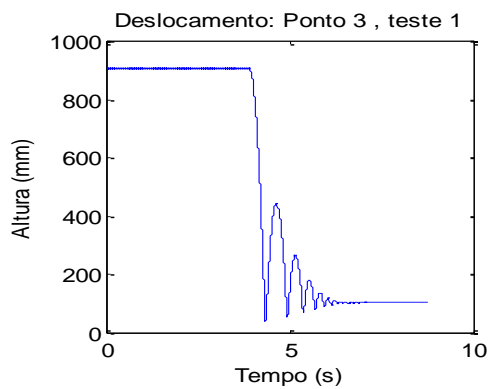
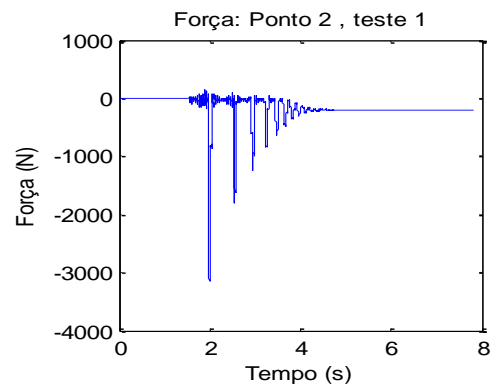
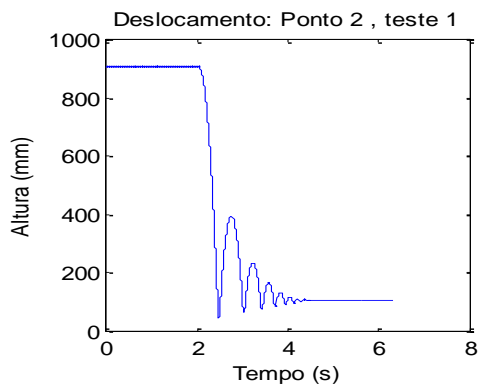
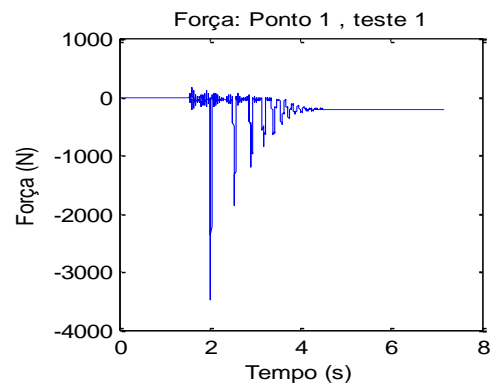
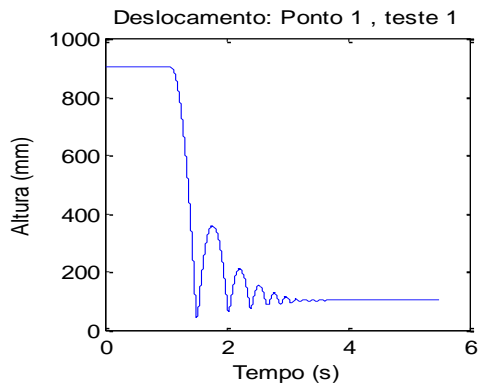
```

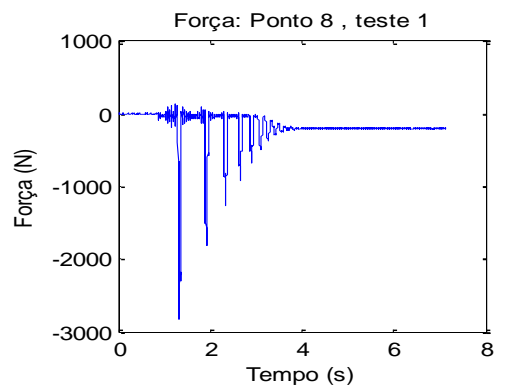
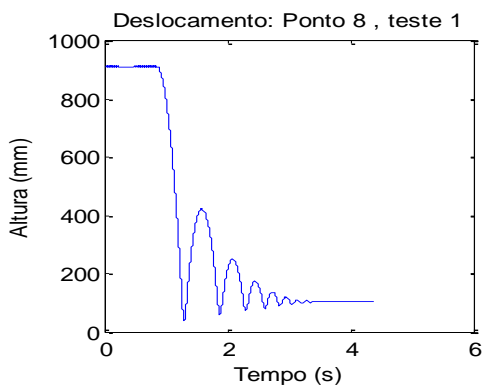
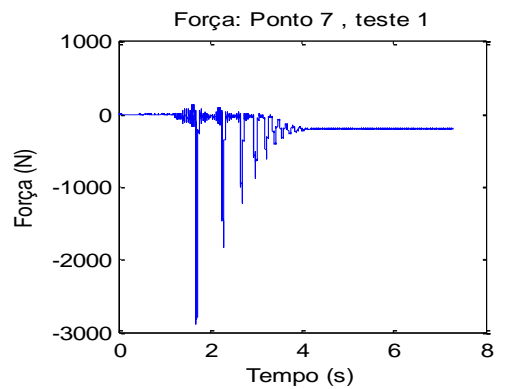
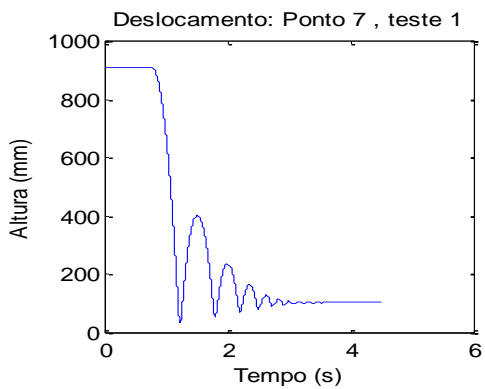
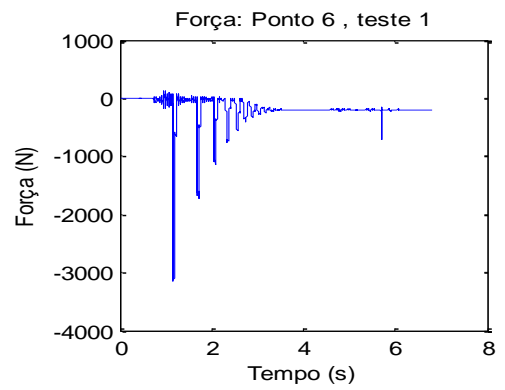
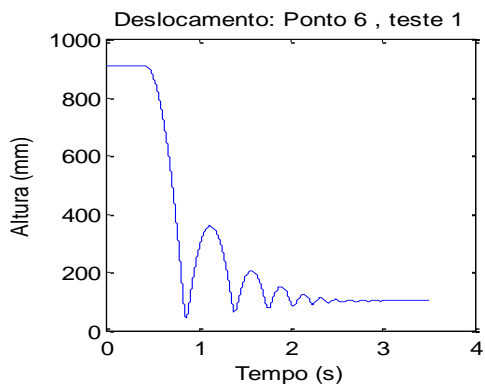
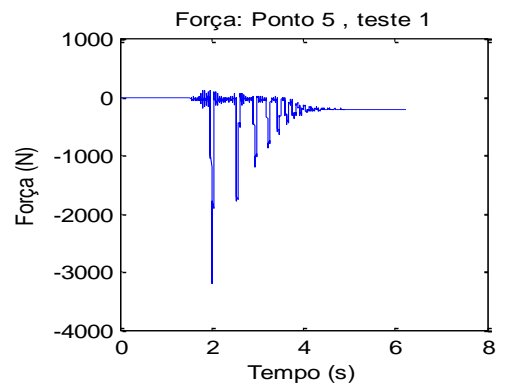
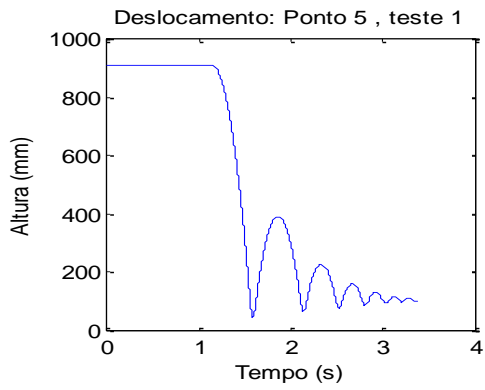
```
prim{n,8}=mean(mediaaafupenc(:));  
prim{n,9}=mean(mediarespenc(:));  
prim{n,12}=mean(mediaafugraf(:));  
prim{n,13}=mean(mediaresgraf(:));
```

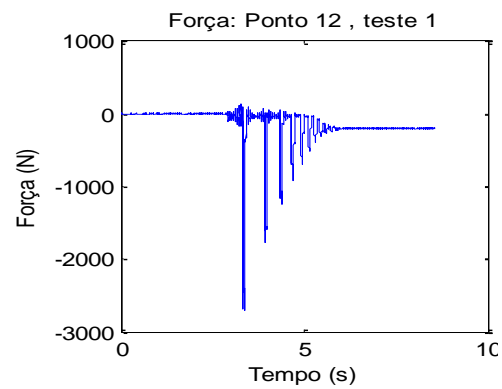
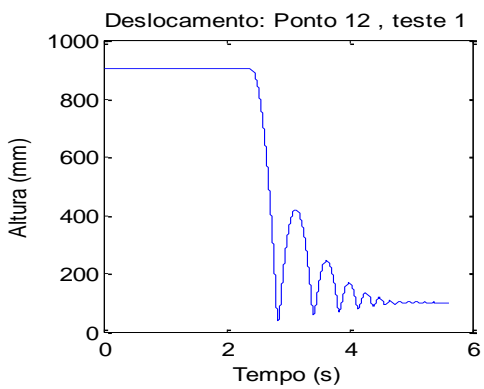
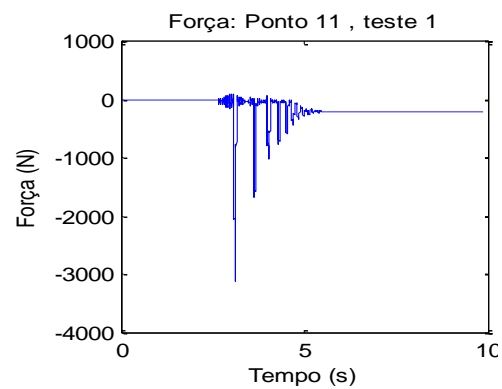
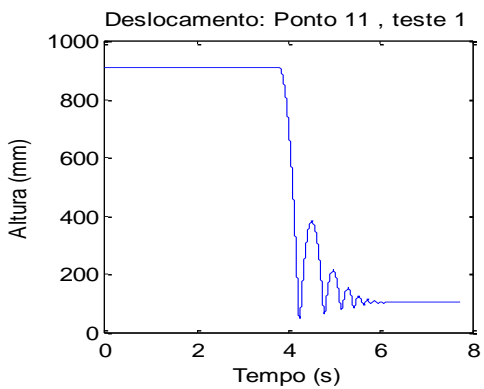
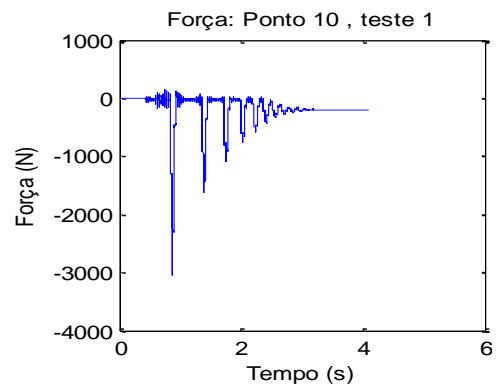
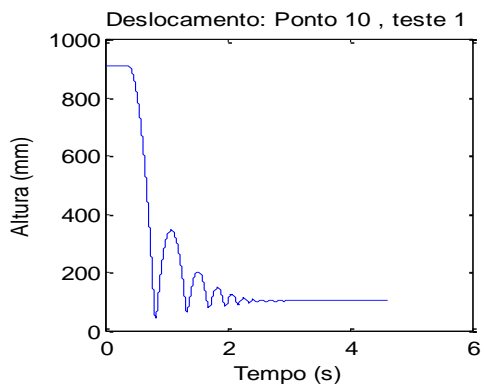
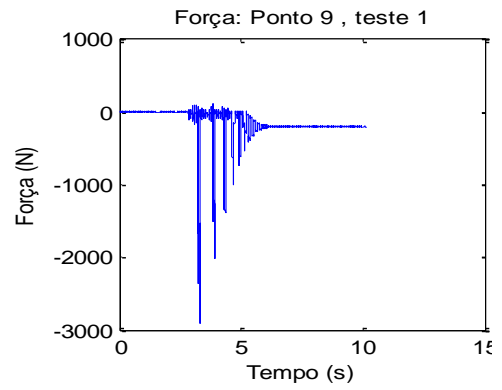
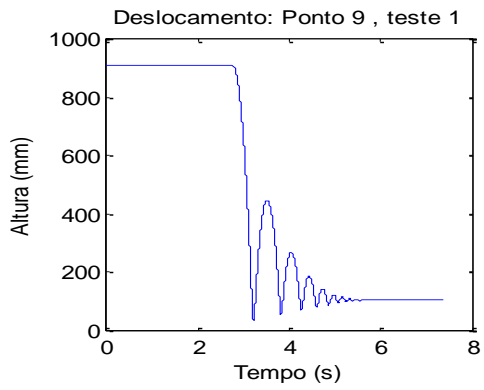
```
xlswrite(filename,cab2,1,'C2');  
xlswrite(filename,prim,1,'B3');
```

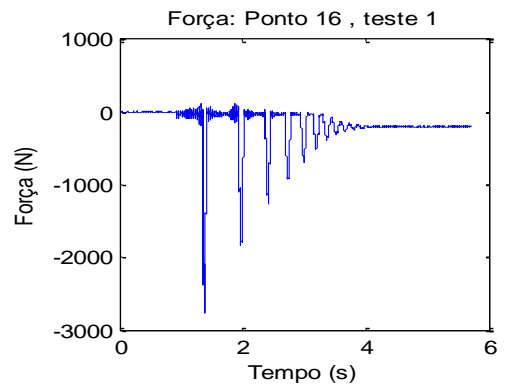
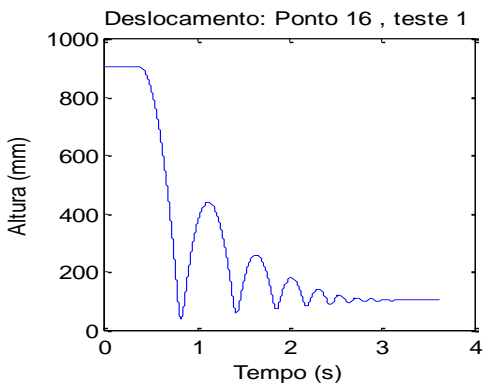
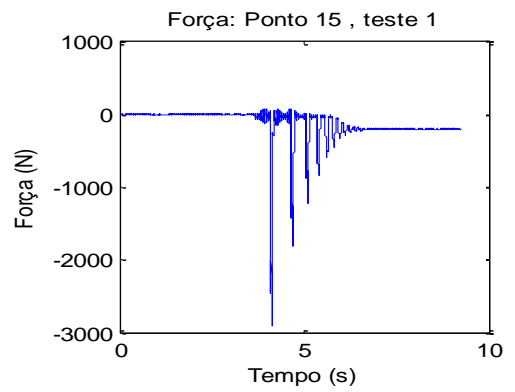
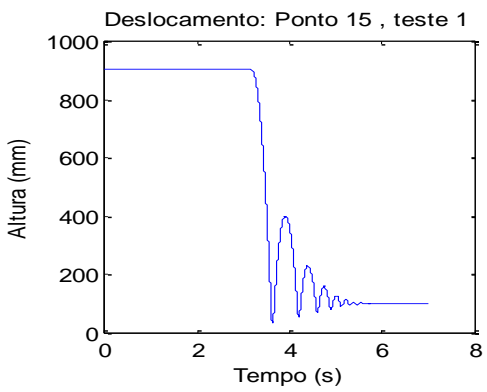
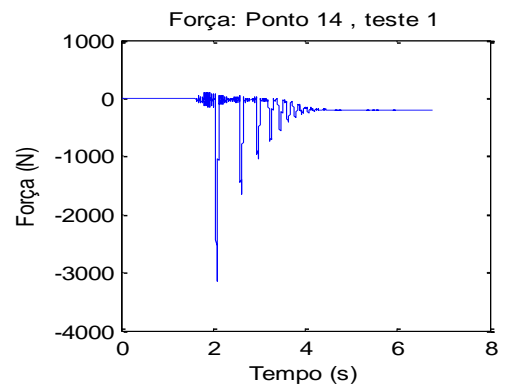
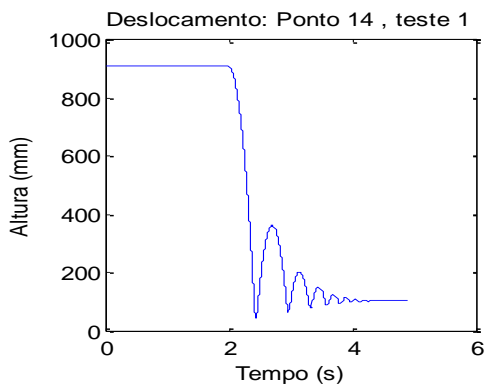
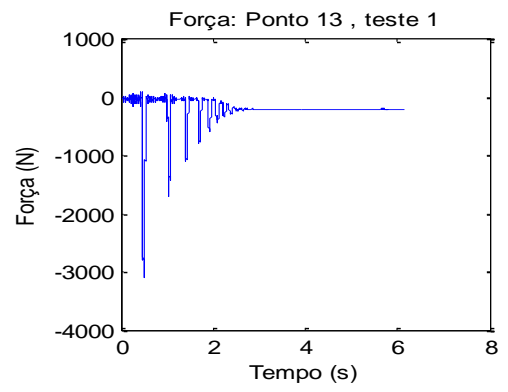
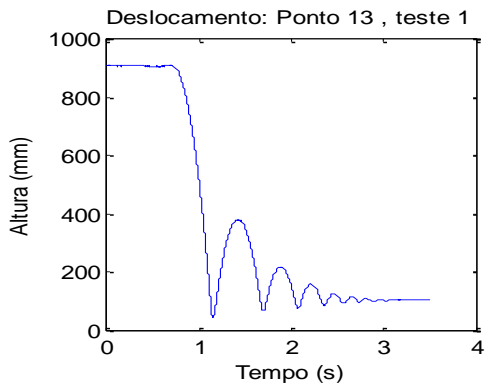
Apêndice H

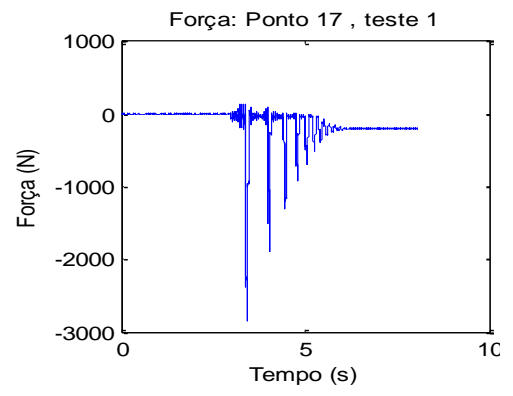
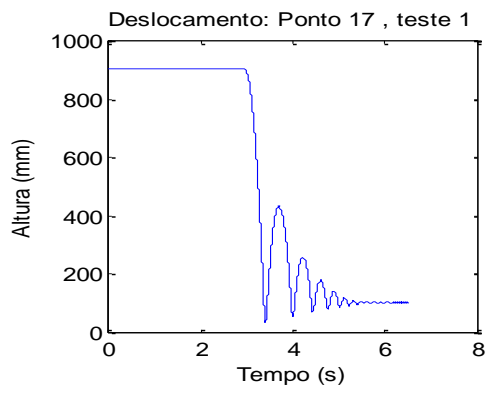
Gráficos de dados obtidos para os ensaios de impacto no piso de ginástica utilizando placas de espuma polimérica de quatro camadas.





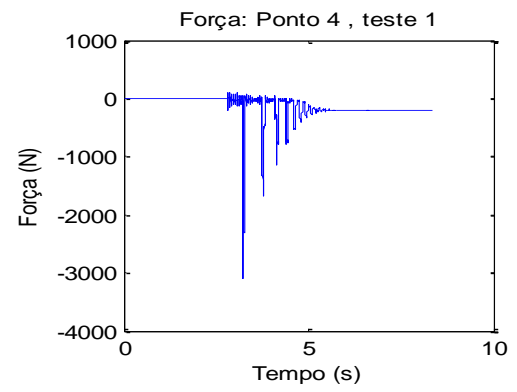
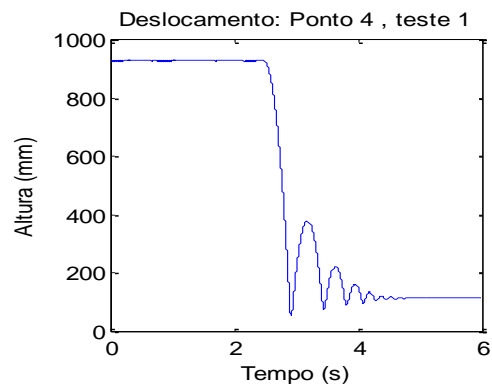
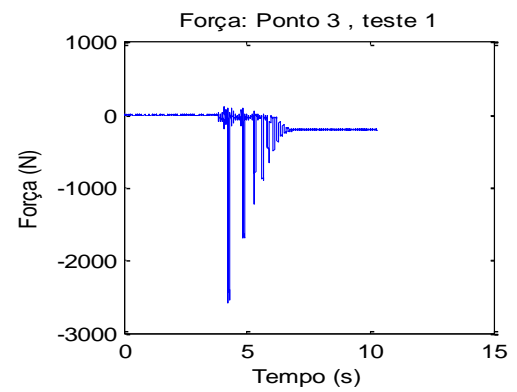
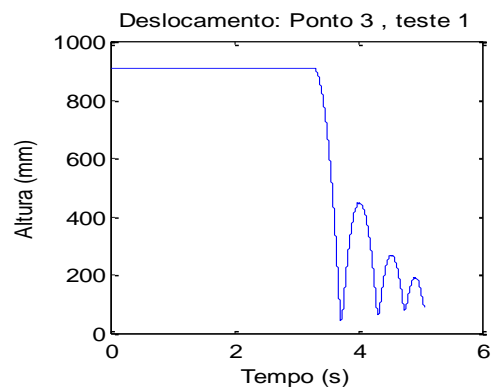
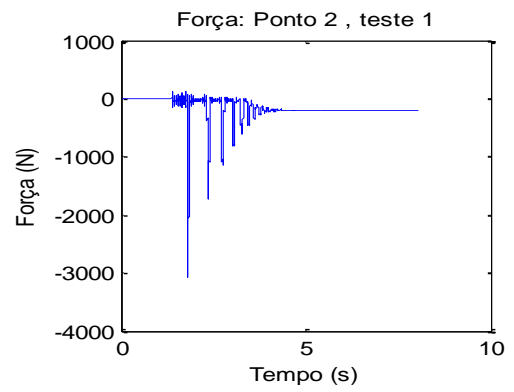
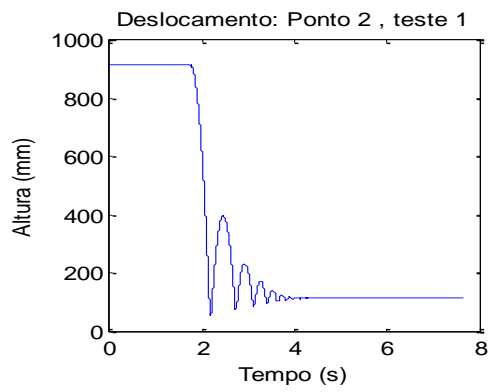
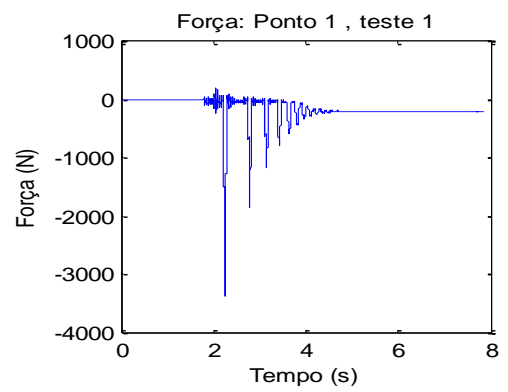
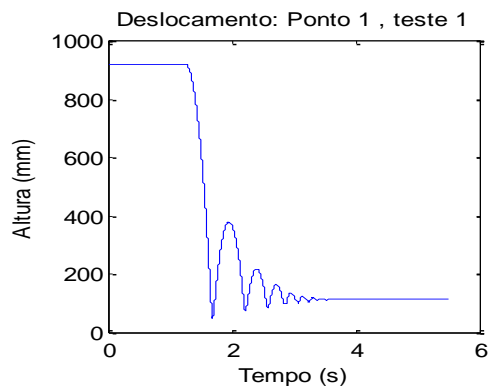


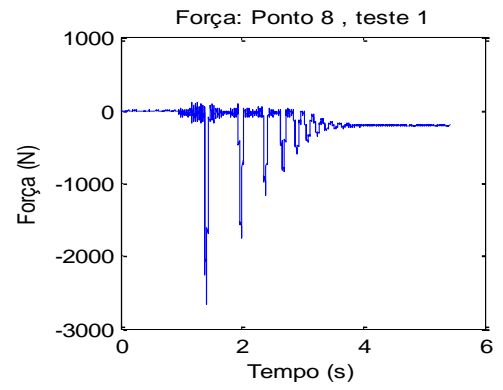
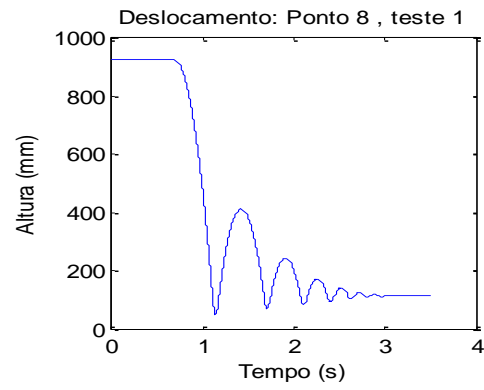
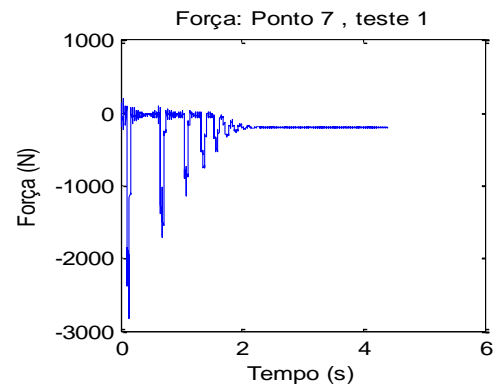
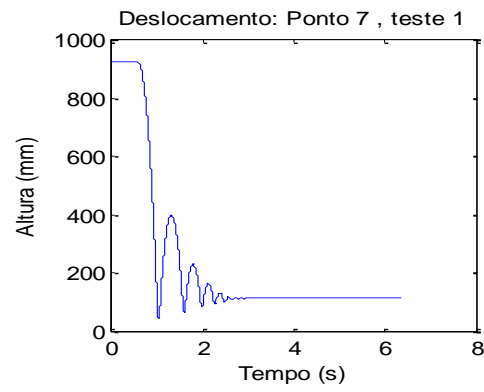
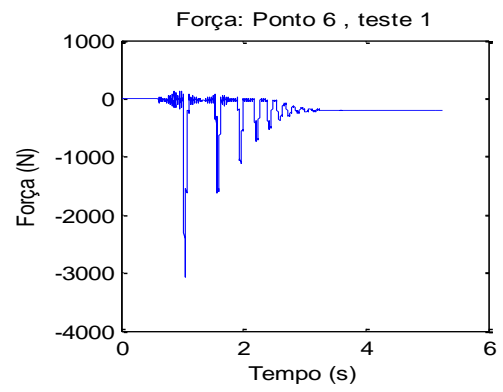
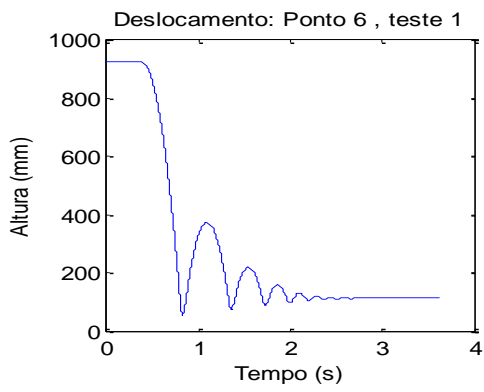
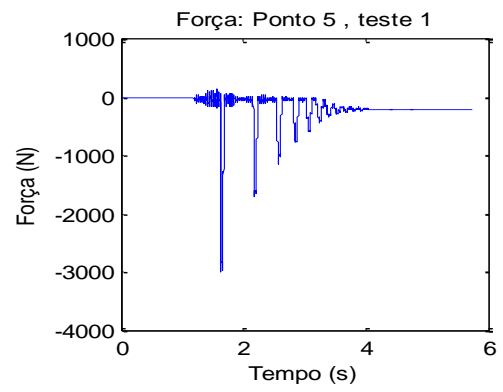
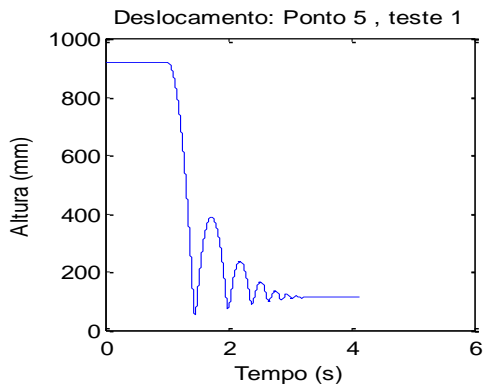


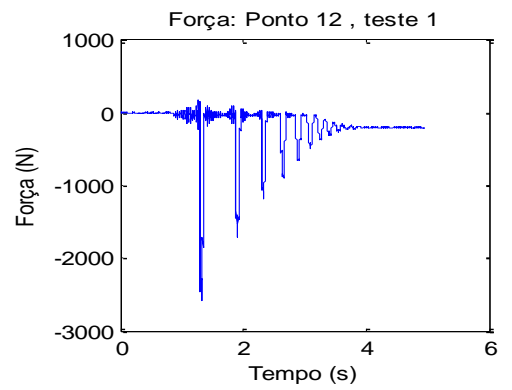
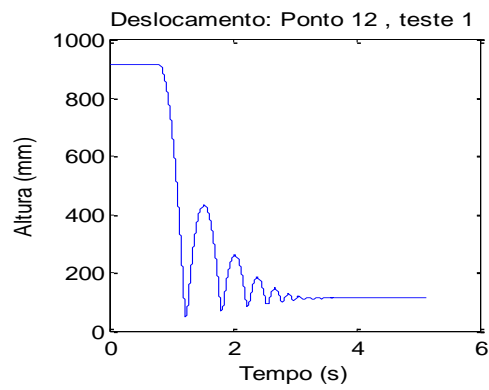
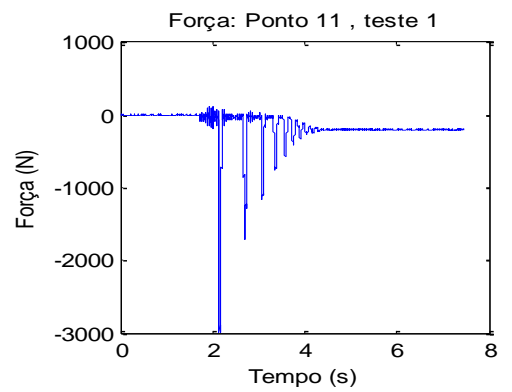
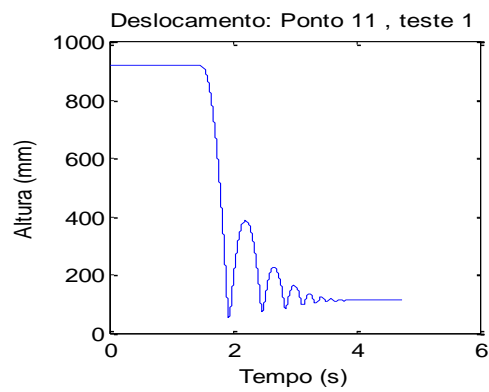
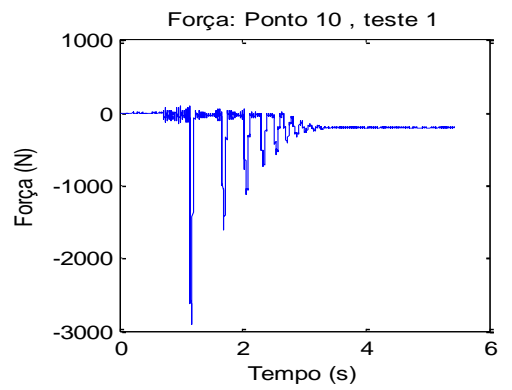
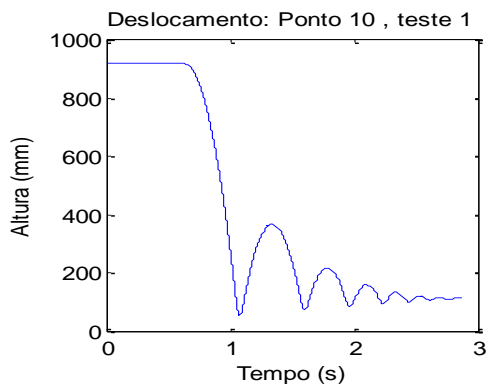
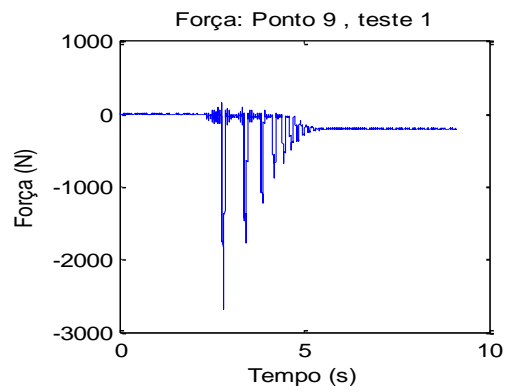
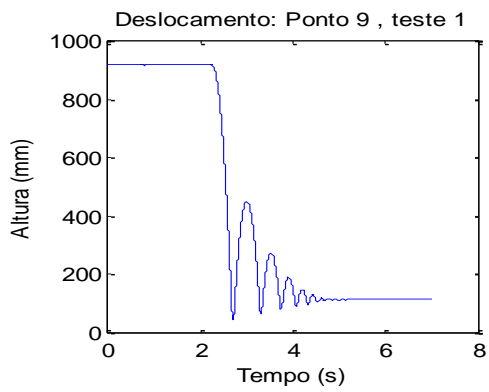


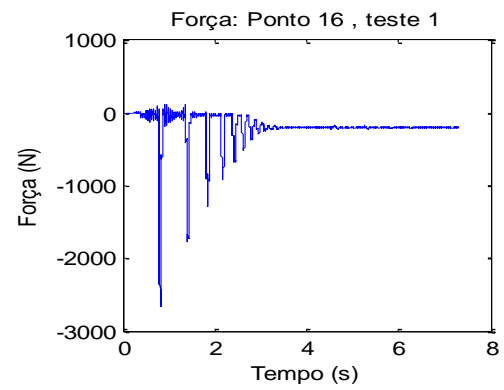
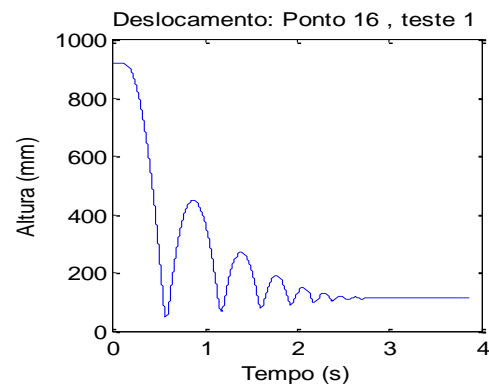
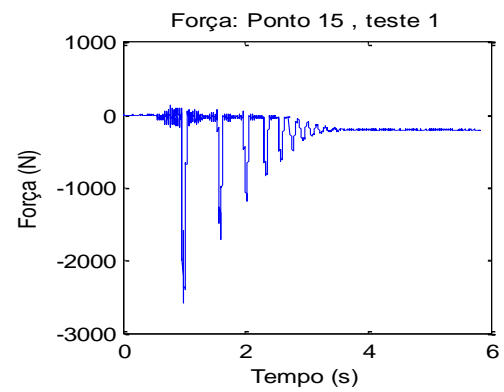
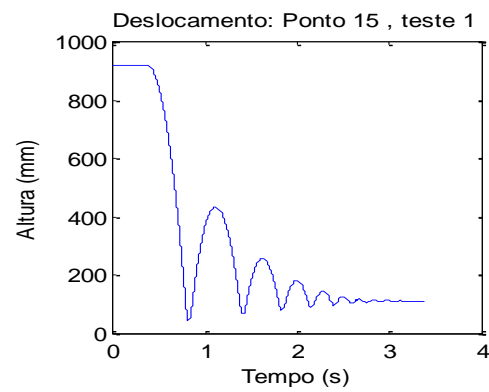
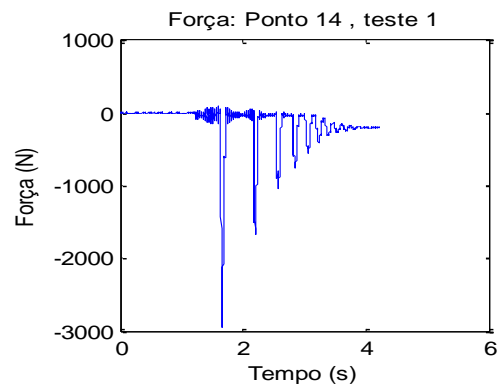
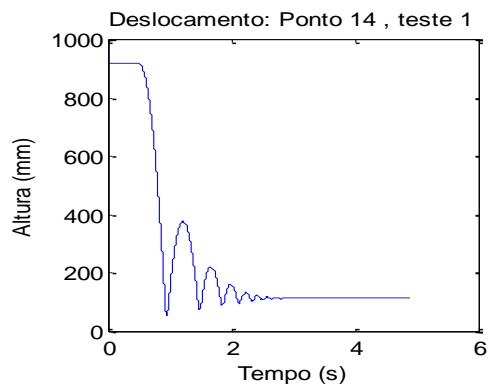
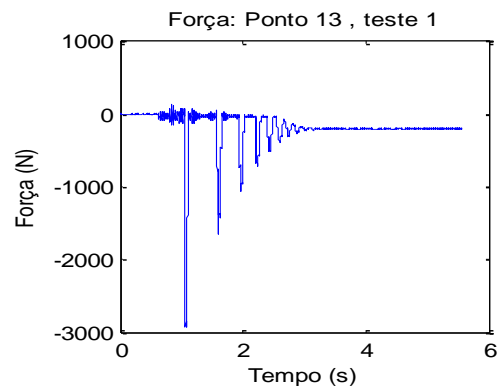
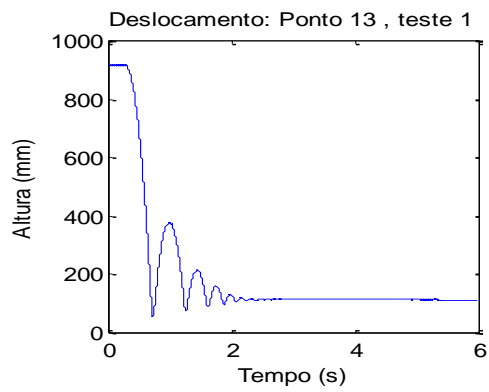
Apêndice I

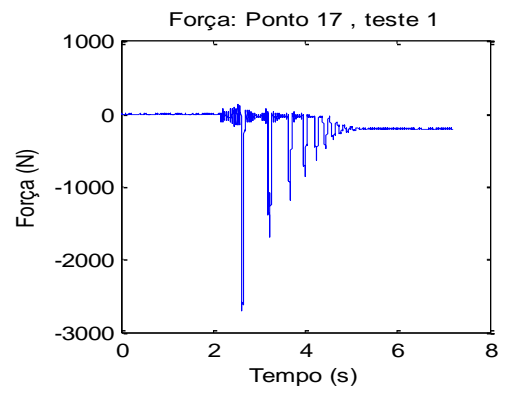
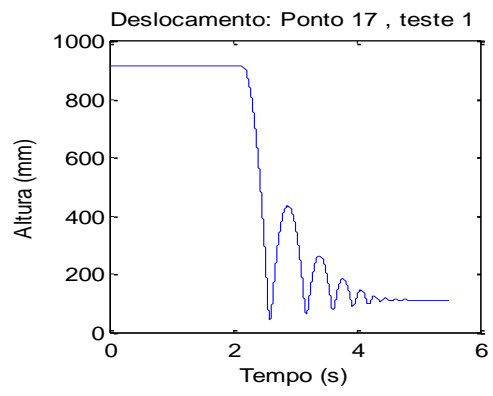
Gráficos de dados obtidos para os ensaios de impacto no piso de ginástica utilizando placas de espuma polimérica de cinco camadas.











Apêndice J

Gráficos de dados obtidos para os ensaios de atrito.

