

Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora

Leandro Nuno Pinto Monteiro

Relatório do Projecto Final

Orientadores:

Prof. Manuel Rodrigues Quintas

Inv. Carlos Manuel Sousa Moreira da Silva



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fevereiro 2008

Resumo

Alguns estudos permitem concluir que a força de preensão da mão não é apenas uma medida da força da mão ou um indicador da tonicidade muscular. Esses estudos associam a força de preensão da mão com a mortalidade, a limitação funcional, a incapacidade e o estado nutricional. A utilização do método de avaliação do estado nutricional, através da avaliação da força de preensão da mão, tem sido utilizado frequente em muitos estudos, tendo-se obtido excelentes resultados.

O objectivo deste projecto consiste no desenvolvimento de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora.

Inicialmente realizou-se uma pesquisa, utilizando como ferramenta de trabalho a *internet*, com o objectivo de identificar os dinamómetros disponíveis no mercado, bem como as suas principais características.

Neste trabalho realizaram-se alguns estudos sobre diferentes tipos de sensores/transdutores, com vista a seleccionar a melhor solução para incorporar como elemento sensor, concluindo que o sensor piezoresistivo apresenta a melhor solução. Depois de identificado o elemento sensor a utilizar, concebeu-se e modelou-se o dinamómetro recorrendo ao *software SolidWorks*. O dimensionamento dos componentes foi realizado recorrendo ao Método de Elementos Finitos, utilizando o *software CosmosWorks*. Também foi elaborado todo o sistema eléctrico a implementar no dinamómetro, bem como a programação do microcontrolador, responsável pela interface com o utilizador e condicionamento de sinal do sensor. Devido ao espaço reduzido para o alojamento da electrónica, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso para a implantação dos componentes eléctricos, na sua maioria de montagem de superfície.

Os resultados demonstraram que o dinamómetro desenvolvido apresenta características do mesmo nível, ou superiores, aos dinamómetros mais considerados pelos profissionais de saúde, apresentando um peso reduzido, capacidade anatómica, baixo custo, portabilidade e tamanho reduzido. Para além destas características, o dinamómetro desenvolvido contém uma particularidade que não foi identificada em nenhum dos dispositivos estudados. Este aparelho possui duas escalas com diferentes sensibilidades; desta forma, a avaliação da força de preensão, especialmente em pessoas fragilizadas, torna-se mais simples.

Development of an apparatus for the assessment of hand grip force

Abstract

Several studies concluded that the hand grip strength isn't just a measure of either the hand's strength or a muscular tonicity indicator. These studies relate the strength of the hand grip with mortality, functional limitation, incapacity and nutritional state.

The use of the nutritional state evaluation method, based on the evaluation of the strength of the hand grip, has been regularly used in many studies and has achieved positive results.

The main goal of this project consists of the development of a device, used on the evaluation of the gripping capacity.

Initially, an internet search to identify the available dynamometers was done, as well as their most important features. Some studies on different types of sensors have been carried out, with the purpose of selecting the best solution for the sensor element. The conclusion was that the piezoresistive sensor is the best solution to adopt. After identifying the sensor element, the dynamometer was modelled using the SolidWorks software standards. The Finite Element Method, based on the CosmosWorks software, helped to dimension of the different parts. It was also designed and implemented the dynamometer electric system, as well as the microcontroller program that takes care of the user interface and signal conditioning. Due to the limited space of the electrical settings, a printed circuit board was developed in order to include the electrical components mainly of surface mount type.

The results obtained proved that this dynamometer showcases the same, or even higher, level of features when compared with the most popular dynamometers, used by medical staff. Low weight, anatomic capacity, low cost, portability and short size are among these dynamometer's features. Aside these features, this dynamometer has a particular characteristic that hasn't been identified before. This device has two scales with different ranges, with automatic selection which makes the evaluation of the grip strength easier, especially on weak people.

Agradecimentos

A concretização do presente projecto só foi possível graças ao apoio concedido por diversas pessoas. Assim, o autor deseja expressar os seguintes agradecimentos:

- aos orientadores, Professor Manuel Quintas e Investigador Carlos Moreira, pela oportunidade de realizar o projecto, pelo apoio e disponibilidade que sempre demonstraram.
- à Professora Doutora Teresa Amaral da Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto, pela disponibilidade e receptividade que demonstrou desde o contacto inicial, e por toda a contribuição dada ao longo deste projecto.
- à Doutora Teresa Restivo pela cedência do Laboratório de Instrumentação para Medição do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (DEMEGI) e dos seus equipamentos, e por todas as demais contribuições que prestou ao longo deste projecto.
- ao Engenheiro Jorge Reis pelo auxílio no desenvolvimento deste projecto.
- aos técnicos das oficinas, nomeadamente, ao Sr. José, Sr. Albino e o Eng. Mário Pinto, por todo apoio na fabricação dos componentes.
- aos meus pais, pela estrutura e apoio para a realização dos meus objectivos.
- à minha namorada, que sempre me apoiou, compreendeu e incentivou as minhas decisões.

Índice de conteúdos

Capítulo 1. Introdução e Objectivos	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objectivos do projecto	3
1.3 Estrutura do relatório	4
 Capítulo 2. Estado da Arte	 7
2.1 Introdução	7
2.2 Características dos principais dinamómetros comerciais	7
2.2.1 Dinamómetro <i>Jamar</i>	8
2.2.2 Dinamómetro <i>Smedley</i>	9
2.2.3 Dinamómetro <i>Baseline Smedley</i>	10
2.2.4 Dinamómetro <i>Lode</i>	11
2.2.5 Dinamómetro <i>Digit-Grip</i>	12
2.2.6 Dinamómetro <i>Lafayette</i>	13
2.2.7 Dinamómetro <i>DynEx</i>	14
2.2.8 Dinamómetro <i>Baseline</i>	15
2.3 Conclusão	16
 Capítulo 3. Sensorização do Dinamómetro	 19
3.1 Introdução	19
3.2 Elemento Sensor	19

3.2.1 Sensor de Hall	20
3.2.2 Extensómetros resistivos.....	25
3.2.3 Células de carga	26
3.2.4 Sensor piezoresistivo.....	27
3.3 Conclusão	29
 Capítulo 4. Princípio de Funcionamento	 31
 4.1 Introdução	 31
4.2 Princípio de funcionamento do dinamómetro	32
4.3 Conclusão	36
 Capítulo 5. Projecto Mecânico e Dispositivos Electrónicos	 37
 5.1 Introdução	 37
5.2 Estrutura mecânica	37
5.2.1 Dimensionamento dos componentes.....	38
5.2.2 Análise de tensões na estrutura completa	40
5.2.3 Análise de deformações na estrutura completa.....	41
5.2.4 Análise de tensões no corpo principal.....	42
5.2.5 Análise de deformações do corpo principal	43
5.2.6 Análise de tensões da pega superior	44
5.2.7 Análise de deformações da pega superior	45
5.2.8 Análise de tensões do veio de ajuste	46
5.2.9 Análise de deformações do veio de ajuste	47
5.2.10 Análise de tensões da guilhotina	48
5.2.11 Análise de deformações da guilhotina	49

5.3 Dispositivos Electrónicos	49
5.3.1 Microcontrolador	51
5.3.2 Compilador	53
5.3.3 Programa desenvolvido	54
5.3.4 Esquema eléctrico do dinamómetro	57
5.3.5 Placa de circuito impresso	57
5.4 Conclusões.....	58
 Capítulo 6. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros.....	59
 6.1 Conclusões.....	59
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	60
 Capítulo 7. Referências Bibliográficas	61
 Anexo A: Dinamómetros.....	66
 Anexo B: Análise de tensões e deformações	69
 Anexo C: Programa desenvolvido.....	72
 Anexo D: Componentes mecânicos	79

Índice de figuras

Figura 1. Instrumentos de manutenção da força da mão	1
Figura 2. Dinamómetro <i>Jamar</i>	8
Figura 3. Dinamómetro <i>Smedley</i>	9
Figura 4. Dinamómetro <i>Baseline Smedley</i>	10
Figura 5. Dinamómetro <i>Lode</i>	11
Figura 6. Dinamómetro <i>Digit-Grip</i>	12
Figura 7. Dinamómetro <i>Lafayette</i>	13
Figura 8. Dinamómetro <i>DynEx</i>	14
Figura 9. Dinamómetro <i>Baseline</i> , analógico e digital	15
Figura 10. Princípio do efeito de Hall	20
Figura 11. Aproximação do sensor de Hall ao magnete	21
Figura 12. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 0 a 7 mm	22
Figura 13. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 0 a 3 mm	23
Figura 14. Características do transdutor de efeito de Hall com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 3 a 7 mm	23
Figura 15. Característica do transdutor de transdutor de efeito de Hall, com um incremento de 0,1 mm e uma gama de estudo entre 0 mm e 7 mm	24
Figura 16. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 0 a 3mm	24

Figura 17. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 3 a 7mm.	24
Figura 18. Extensómetro resistivo	26
Figura 19. Células de carga.....	26
Figura 20. Sensor piezoresistivo <i>FlexiForce</i>	27
Figura 21. Característica do sensor <i>FlexiForce</i> fornecida pelo fabricante	28
Figura 22. Condicionamento recomendado pelo fabricante	29
Figura 23. Principais componentes envolvidos no princípio de funcionamento do dinamómetro	32
Figura 24. Sistema de transmissão da força de preensão da mão	33
Figura 25. Mecanismo de encravamento/desencravamento dos veios de ajuste	35
Figura 26. Aspecto final do dinamómetro	35
Figura 27. Restrições aplicadas na estrutura completa para análise de tensões e deformações	39
Figura 28. Resultado da análise de tensões na estrutura completa com um factor de escala de 100	40
Figura 29. Resultado da análise de deformações na estrutura completa, relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala de 100.....	41
Figura 30. Resultado da análise de tensões no corpo principal com um factor de escala de 100.....	42
Figura 31. Resultado da análise de deformações do corpo principal, relativamente ao eixo dos xx e com um factor de escala de 100.....	43

Figura 32. Resultado da análise de tensões da pega superior com um factor de escala de 100	44
Figura 33. Resultado da análise de deformações da pega superior, relativamente ao eixo dos yy e com um factor de escala de 100	45
Figura 34. Resultado da análise de tensões do veio de ajuste com um factor de escala de 100	46
Figura 35. Resultado da análise de deformações do veio de ajuste relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala de 100	47
Figura 36. Resultado da análise de tensões da guilhotina com um factor de escala de 100....	48
Figura 37. Resultado da análise de deformações da guilhotina relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala de 100.....	49
Figura 38. Secções da electrónica do dinamómetro	50
Figura 39. <i>Pinout</i> do microcontrolador PIC18F2550.....	52
Figura 40. Aspecto do <i>software MikroC</i> e placa desenvolvimento da <i>Mikroelektronika</i>	53
Figura 41. Aspecto da placa com o circuito a implementar no dinamómetro.....	54
Figura 42. <i>Grafcet</i> simplificado da estrutura do programa instalado no PIC18F2550	55
Figura 43. Esquema eléctrico do dinamómetro.....	57
Figura 44. Aspecto final da placa de circuito impresso desenvolvida	58
Figura 45. Dinamómetro <i>Grasp</i>	66
Figura 46. Aspecto do dinamómetro <i>Takei Handgrip</i> analógico	67
Figura 47. Aspecto do dinamómetro <i>Takei Handgrip</i> digital.....	68
Figura 48. Análise das tensões da pastilha inferior com um factor de escala de 100	69

Figura 49. Análise das deformações da pastilha inferior relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala de 100	69
Figura 50. Análise das tensões da cavilha de guiamento com um factor de escala de 100	70
Figura 51. Análise das deformações da cavilha de guiamento relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala 100.....	70
Figura 52. Análise das tensões da pega inferior com um factor de escala de 100.....	71
Figura 53. Análise das deformações da pega inferior relativamente ao eixo dos yy com factor de escala de 100	71

Índice de tabelas

Tabela 1. Características gerais do dinamómetro <i>Smedley</i>	9
Tabela 2. Características gerais do dinamómetro <i>Lode</i>	11
Tabela 3. Características gerais do dinamómetro <i>Digit-Grip</i>	12
Tabela 4. Características gerais do dinamómetro <i>Dynex</i>	14
Tabela 5. Expressões das características metrológicas.....	23
Tabela 6. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 0 mm a 3mm.....	23
Tabela 7. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 3 mm a 7 mm.....	23
Tabela 8. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 0 a 3 mm	24
Tabela 9. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 3 a 7 mm	24
Tabela 10. Características do dinamómetro <i>Grasp</i>	66
Tabela 11. Características principais do dinamómetro <i>Takei Handgrip</i> analógico.....	67
Tabela 12. Características principais do dinamómetro <i>Takei Handgrip</i> digital	68

Capítulo 1. Introdução e Objectivos

1.1 Introdução

A mão é um órgão complexo e indispensável, que se destina a múltiplos objectivos. A sua utilização em tarefas como o transporte, preensão e manipulação de objectos são essenciais à vida diária. As funções básicas da mão consistem na preensão de forma correcta e precisa, dos vários objectos utilizados nas actividades quotidianas. O movimento do agarrar, por si só, tem pouca valia, se a capacidade de o fazer estiver sujeito a algum tipo de perturbação.

Com o avanço da idade, perde-se gradualmente a capacidade de preensão da mão [Henrik06]. No caso particular de alguns atletas desportivos que usam as mãos para apanhar, lançar ou erguer, esta capacidade de preensão diminui acentuadamente. Assim, em ambos os casos é exigido que esta se mantenha de forma repetitiva e por um longo período de tempo. Com este intuito recorre-se à exercitação contínua da mão, para manter ou reabilitar o poder de preensão, fazendo uso de aparelhos entre os quais os designados por dinamómetros. Para responder a este fim, actualmente encontram-se no mercado vários instrumentos com as mais variadas formas, materiais e preços, deixando-os ao alcance de todos.

A figura 1 ilustra os aspectos construtivos de alguns instrumentos, para a manutenção da força de preensão da mão.



Figura 1. Instrumentos de manutenção da força da mão

Estes equipamentos são constituídos por materiais poliméricos e/ou metais e integram sistemas mecânicos, normalmente molas, com a finalidade de produzir uma força opositora à exercida pela mão em exercitação.

Alguns estudos permitem concluir que a força de preensão da mão não é apenas uma medida da força da mão ou um indicador da tonicidade muscular. Esses estudos associam a força de preensão da mão com a mortalidade, a limitação funcional, a incapacidade e ao estado nutricional [Esther05].

A desnutrição constitui um problema que, normalmente, se associa exclusivamente aos países pobres ou subdesenvolvidos. Contudo, no mundo desenvolvido onde a obesidade foi considerada uma epidemia do século XXI, a desnutrição continua a afectar um número significativo da população.

A desnutrição é um estado de insuficiência de energia que produz uma mudança mensurável na função corporal. Esta patologia está directamente associada a um aumento na evolução de outras doenças e, quando atempadamente diagnosticada, pode ser reversível, através de uma intervenção nutricional.

Nos últimos anos, o tema da desnutrição tem sido alvo de vários estudos. Estes revelam que é uma doença que teima em verificar-se com alguma frequência, chegando a valores na ordem dos 20% a 50% [Matos07], na admissão de pacientes em casos de índole hospitalar.

A desnutrição, quando conjugada com a hospitalização, aumenta o risco do doente desenvolver complicações, prolonga o tempo de internamento, bem como aumenta os índices de ocorrência de mortalidade e leva a um aumento dos custos financeiros de tratamentos associados ao problema em foco.

A importância da avaliação do estado nutricional justifica-se, entre outros aspectos, por esta ser uma etapa fundamental do tratamento de vertente nutricional, aquando da identificação de pacientes desnutridos. Desta forma, poder-se-á reduzir ou até mesmo evitar, de forma simples, eficaz, rápida e barata, complicações associadas a esta doença. Para estes procedimentos terem oportunidade de serem postos em prática, é necessário ter métodos e técnicas disponíveis para a avaliação do estado nutricional.

A desnutrição reflecte-se de diversas formas no nosso organismo. Vários estudos indicam que as primeiras alterações têm origem nas células musculares [Vaz96], registando-se uma perda progressiva de tecidos musculares, se não for tratada atempadamente. A perda muscular tem como consequência a redução da força de preensão. Assim, a avaliação da capacidade de preensão da mão é um bom método de avaliação do estado nutricional [Matos07].

A utilização do método de avaliação do estado nutricional, através da avaliação da força de preensão da mão, tem sido utilizada frequente em muitos estudos, tendo-se obtido excelentes resultados. Sendo assim, reforça-se a ideia de se tratar de um método fiável e

válido para uma triagem inicial na avaliação do estado nutricional dos pacientes [Angela05], [Mário05], [Pieterse02]. Desta forma, fica evidente a importância dos testes de avaliação muscular, como método de avaliação do estado nutricional geral.

Existem vários métodos e instrumentos de avaliação nutricional. Alguns são morosos e requerem técnicos altamente especializados para a sua realização. A avaliação da força de preensão difere de outras metodologias existentes pelo seu carácter não invasivo, de emprego rápido e fácil, portátil, de baixo custo e não requerendo pessoal técnico especializado.

A força de preensão é mensurável, através de um instrumento designado por dinamómetro. Este difere dos instrumentos de manutenção da força da mão, porque permite quantificar a força de aperto exercida pela mão, recorrendo a uma escala graduada de forma analógica ou digital previamente calibradas.

Os primeiros dispositivos surgiram em 1798, com o objectivo de avaliar a capacidade muscular de diferentes raças humanas [Johon78]. Actualmente, são uma ferramenta com desempenho importante na avaliação do estado nutricional; mas também são utilizados noutras áreas, como é o caso do desporto, em que os atletas necessitam de avaliar a capacidade de preensão da mão.

As medições dinamométricas são facilmente obtidas e, quando correctamente efectuadas, fornecem estimativas da força de preensão comparáveis com valores de referência consoante a idade, altura e género. Contudo, para as medições serem fiáveis, é necessário que sigam protocolos definidos pelos profissionais especializados. Estes protocolos incidem principalmente na posição do corpo, do braço, no número de testes realizados e no tempo de repouso entre testes. Normalmente, recomenda-se que o paciente esteja sentado com ângulo entre o antebraço e o braço de 90°, devendo efectuar três apertos de mão com a utilização da mão não dominante. Em casos excepcionais, como o da deficiência, utiliza-se a mão dominante [Hillman05].

1.2 Objectivos do projecto

O objectivo deste trabalho consiste no projecto de um instrumento para medição da força de preensão da mão que tenha como principais características:

- Elevada fiabilidade;

- Tamanho reduzido, portátil e com funcionamento de tipo electrónico alimentado a baterias;
- Manipulação confortável e compatível com grupos etários e nutricionais particulares;
- Peso reduzido e robustez mecânica compatível com o formato e o ambiente de utilização;
- Capacidade de adaptação anatómica;
- Baixo custo de produção e reduzidas necessidades de manutenção.

1.3 Estrutura do relatório

O presente relatório está estruturado em seis capítulos, para além da Introdução.

No Capítulo 2, intitulado *Estado da Arte*, são apresentados os principais dinamómetros disponíveis no mercado, assim como são indicadas as principais características, bem como o princípio de funcionamento dos mesmos. Por fim, é feita uma breve conclusão com base nas características identificadas.

No que respeita ao Capítulo 3, designado por *Sensorização do Dinamómetro*, são expostas algumas observações de alguns sensores/transdutores que inicialmente se apresentavam como possíveis soluções para incorporar o órgão sensor do dinamómetro, nomeadamente o sensor de Hall, piezoresistivo e o extensómetro resistivo ou o transdutor de célula de carga. Posteriormente, apresenta-se e caracteriza-se o sensor seleccionado para o dinamómetro a desenvolver no presente trabalho, bem como as razões que levaram à sua selecção.

Designado *Princípio de Funcionamento*, o Capítulo 4 apresenta os principais componentes constituintes do dinamómetro, assim como o seu princípio de funcionamento, explicando pormenorizadamente toda a cinemática envolvida nesse sistema.

O *Projecto Mecânico e os Dispositivos Electrónicos*, apresentados no Capítulo 5, fazem uma abordagem sobre o dimensionamento dos componentes envolvidos no dinamómetro, recorrendo ao Método de Elementos Finitos, utilizando o *software CosmosWorks*. São também apresentados e detalhados, os circuitos eléctricos inerentes à alimentação eléctrica, ao condicionamento de sinal do sensor e à interface com o utilizador, baseado num microcontrolador.

Finalmente, as *Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros* surgem no Capítulo 6, sendo realizado um resumo do projecto e dos principais resultados obtidos. Neste capítulo são ainda apresentadas as limitações da primeira versão do dinamómetro, e sugestões para novos trabalhos em futuras versões.

O presente relatório ainda contém quatro anexos nos quais são apresentados alguns dinamómetros de menor relevância encontrados no mercado. São também expostos alguns dos resultados das análises de tensões e deformações dos componentes menos críticos da estrutura do dinamómetro, e ainda os desenhos 2D de todos os componentes. Finalmente é apresentado o programa desenvolvido, e implementado no microcontrolador, recorrendo para tal ao *software miKroC*.

Capítulo 2. Estado da Arte

2.1 Introdução

O dinamómetro desenvolvido neste trabalho teve como principais objectivos, os mencionados no ponto 1.2, do Capítulo 1. Deste modo realizou-se uma pesquisa exaustiva utilizando como ferramenta de trabalho a *internet*, assim como o contacto com um docente Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto, tendo como objectivo identificar as principais características dos dinamómetros disponíveis no mercado e também a sua aceitação por parte destes profissionais.

Neste capítulo pretende-se apresentar os dinamómetros mais acreditados pelos profissionais de saúde. Do mesmo modo, são apresentadas algumas das principais características, nomeadamente, o princípio de funcionamento, a capacidade de adaptação anatómica, a gama de medição, a sensibilidade, a resolução e o peso. Na realização deste estudo encontraram-se algumas dificuldades na caracterização de alguns dinamómetros devida à escassa informação fornecida pelos fabricantes.

Em anexo são detalhados alguns dos dinamómetros considerados menos relevantes que foram excluídos deste capítulo.

2.2 Características dos principais dinamómetros comerciais

Os dinamómetros considerados relevantes para análise das principais características foram os dinamómetros: *Jamar*, *Smedley*, *Baseline Smedley*, *Lode*, *Digit-Grip*, *Lafayette*, *DynEx* e *Baseline*.

2.2.1 Dinamómetro *Jamar*

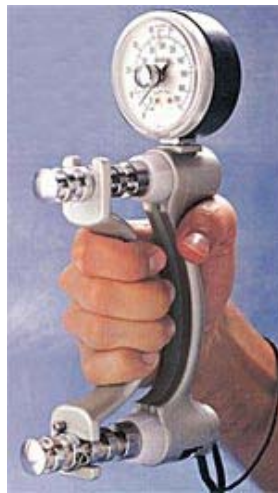


Figura 2. Dinamómetro *Jamar*

O dinamómetro *Jamar* (figura 2) é o mais acreditado pelos profissionais de avaliação do estado nutricional, não só pelos contactos realizados, mas também pelo constatado na literatura da especialidade consultada. O dinamómetro *Jamar* é construído recorrendo a uma liga leve, capaz de absorver choques; possui uma correia de segurança para envolver o pulso de forma a evitar uma possível queda. O seu princípio de funcionamento assenta num sistema hidráulico. Possui dois pistões funcionando em paralelo e ligados entre si hidraulicamente. Este dinamómetro possui um manómetro graduado em kgf/lbf, onde se deslocam dois ponteiros, um fornecendo a força instantânea e outro registando a força máxima. No que respeita à gama de medição, esta está compreendida entre os 0 kgf e 90 kgf. Este dispositivo ajusta-se facilmente a diferentes tamanhos de mãos, uma vez que possui cinco posições de ajuste, com incrementos de 1,3 cm entre posições. Daqui resulta uma distância entre pegadas variando entre 3,5 cm a 8,7 cm. A ausência de informação disponibilizada por parte do fabricante, inviabilizou a obtenção de outras características deste instrumento.

2.2.2 Dinamómetro *Smedley*



Figura 3. Dinamómetro *Smedley*

O dinamómetro *Smedley* (figura 3) é bastante utilizado no âmbito da avaliação da capacidade de preensão da mão. Este é construído recorrendo a dois materiais, sendo a pega móvel em metal e a pega fixa em material polimérico. Este dispositivo permite a regulação entre pegas, recorrendo a um parafuso de ajuste para adaptação a diferentes tamanhos de mão. O seu princípio de funcionamento assenta num sistema puramente mecânico.

As características gerais deste dinamómetro são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Características gerais do dinamómetro *Smedley*

Gama de medição	0-100 [kgf]
Ajuste	43 - 66 [mm]
Resolução	1 [kgf]
Mostrador	Analógico
Peso	523 [gf]

2.2.3 Dinamómetro *Baseline Smedley*



Figura 4. Dinamómetro *Baseline Smedley*

O dinamómetro *Baseline Smedley* (figura 4) é regulável entre garras, recorrendo a um parafuso de ajuste, para uma confortável adaptação a diferentes tamanhos de mão. Possui um mostrador graduado, onde se deslocam dois ponteiros, um fornecendo a força instantânea e outro registando a força máxima. O instrumento observável na figura 4, possui duas escalas sendo uma graduada em lbf e outra em kgf, permitindo uma gama de leitura variável entre 0 kgf e 100 kgf ou de 0 lbf a 220 lbf. Não foi possível identificar mais características neste instrumento, devido à falta de informação disponibilizada pelo fabricante.

2.2.4 Dinamómetro *Lode*



Figura 5. Dinamómetro *Lode*

A figura 5 ilustra o dinamómetro *Lode*. Este aparelho utiliza uma aplicação de tecnologia especial, não referida pelo fabricante. O dinamómetro *Lode* está conectado a um amplificador, onde os valores medidos podem ser lidos através de um ecrã existente. No entanto, também pode ser conectado a um computador recorrendo a um *software* dedicado que permite criar uma base de dados dos registos de ensaios efectuados aos diferentes pacientes. Este sistema é capaz de memorizar o valor mais elevado da força, para posteriormente ser visualizado.

As características gerais deste dinamómetro são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Características gerais do dinamómetro *Lode*

Gama de medição	0-100	[kgf]
Dimensões do dinamómetro	216 x 24 x 65	[mm]
Dimensões do amplificador	280 x 315 x 85	[mm]
Peso dinamómetro	612	[gf]
Peso amplificador	2150	[gf]
Alimentação	8	[V]

2.2.5 Dinamómetro *Digit-Grip*



Figura 6. Dinamómetro *Digit-Grip*

O dinamómetro *DIGIT-Grip* (figura 6) é alimentado por uma bateria, sendo a informação exibida em kgf ou lbf num mostrador digital. Neste pode ser observado o valor mais elevado da medição, tendo também a possibilidade de calcular e memorizar valores médios da força de preensão de nove pacientes. Este dispositivo pode ser conectado a um computador, usando um *software* dedicado de base de dados, de forma a permitir o armazenamento dos dados para futura análise estatística. Relativamente ao funcionamento deste dinamómetro, este baseia-se na leitura da deformação da barra traseira para obtenção da força, utilizando extensómetros como elementos sensores.

As características gerais deste dinamómetro são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Características gerais do dinamómetro *Digit-Grip*

Gama de medição	± 100 [kgf]
Resolução	40 [gf]
Não linearidade	$<0,5\%$ [F.S.]
Histerese	$<0,5\%$ [F.S.]
Peso	330 [gf]
Altura	7,1 [cm]
Largura	3,2 [cm]
Comprimento	20,3 [cm]

2.2.6 Dinamómetro *Lafayette*



Figura 7. Dinamómetro *Lafayette*

O dinamómetro *Lafayette* (figura 7) é construído à base de materiais poliméricos resistentes ao choque. Possui um mostrador onde se deslocam dois ponteiros, um fornecendo a força instantânea e outro registando a força máxima de várias medições; possui quatro centímetros de ajuste, adaptando-se a diferentes tamanhos de mãos dos pacientes. No que diz respeito à gama de medição, esta encontra-se disponível em duas gamas de medição, 0 kgf - 50 kgf e 0 kgf - 100 kgf. A escassez de informação, derivado ao facto do fabricante não a fornecer, impediu a identificação de mais características deste instrumento.

2.2.7 Dinamómetro *DynEx*



Figura 8. Dinamómetro *DynEx*

O dinamómetro *DynEx* (figura 8) é inovador no âmbito de medição da força de preensão. Possui uma gama de medição que pode variar entre 0 kgf e 90 kgf, com uma resolução de 1 kgf. O instrumento apresentado na figura 8, proporciona dois modos diferentes de teste de força: a *Max Grip Strength*, em que se mede e se regista a força; ou no modo *Rapid Exchange Grip*, que permite realizar 10 ou 20 testes em dois cálculos diferentes. Em ambos os modos, quando o teste está completo, o dinamómetro indica o esforço médio, máximo e o desvio padrão de todos os testes. No que diz respeito ao seu funcionamento, este é baseado na deformação dos elementos extensométricos existentes em duas células de carga, disponibilizando um sinal proporcional à força que lhes é aplicada.

As características gerais deste dinamómetro são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Características gerais do dinamómetro *Dynex*

Gama de medição	0 – 90 [kgf]
Alimentação	9 [V]
Peso	0,3 [kgf]
Dimensões	6,35 x 4,72 x 19,68 [cm]
Mostrador	Digital

2.2.8 Dinamómetro *Baseline*



Figura 9. Dinamómetro *Baseline*, analógico e digital

O dinamómetro constante na figura 9 é construído num material à base de liga leve de excelentes propriedades mecânicas. O dinamómetro *Baseline* tem possibilidade de ser ajustado a cinco posições, com as mesmas características do seu congénere, anteriormente referido. O modelo base do dinamómetro em análise tem uma gama de medição de força entre 0 kgf e 90 kgf; existindo um segundo modelo deste instrumento que tem uma gama de medição de força entre 0 kgf e 135 kgf. Existe ainda um outro modelo disponível, com visualização da informação recorrendo a um mostrador digital. Este último possui um painel com botões pressores que podem realizar as seguintes funções: colocar a zero, ilustrar a última leitura máxima guardada na memória; indicar a leitura máxima desde a última vez que foi efectuado um *reset* ou alterar a unidade de medida de lbf/kgf. Relativamente ao seu funcionamento, este é baseado no mesmo princípio que o dinamómetro *Jamar*. A ocultação de informações, por parte do fabricante, acarretou a impossibilidade de detecção de outras características deste instrumento.

2.3 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados dinamómetros, para medir a força de preensão da mão, mais acreditados pelos profissionais de saúde. Como se trata de dispositivos de medição, a escolha destes instrumentos deve considerar parâmetros como a sensibilidade, repetibilidade e a exactidão. Na escolha destes instrumentos, devem ser considerados parâmetros de qualidade da instrumentação e da informação disponibilizada. Os instrumentos fiáveis permitem ao profissional alcançar conclusões que são minimamente afectadas por factores externos, diminuindo assim as hipóteses de erros.

No entanto, há outras características a ter em conta, como é o caso do conforto que os dinamómetros proporcionam aos avaliados. Neste capítulo foram apresentados dinamómetros, em que as pegas em contacto com a mão manifestam uma forma que proporciona algum desconforto ou mesmo dor durante a execução do teste, comprometendo assim a seriedade da avaliação. Uma maneira de resolver este problema consistia no desenvolvimento de pegas com uma configuração ergonómica.

Outra característica relevante está relacionada com o peso dos instrumentos. Ao longo desta pesquisa verificou-se que alguns dinamómetros têm um peso próprio bastante significativo e, como os testes são realizados com o instrumento suspenso pela mão do avaliado, esta característica do equipamento pode influenciar a medição, dado que parte da força é utilizada para segurar o dispositivo de avaliação. A importância do peso do dinamómetro é ainda mais relevante, no caso de doentes fragilizados ou em grupos com menor força, como os idosos ou as crianças.

Em alguns dinamómetros os resultados dos testes, para serem visualizados, necessitam de ser conectados a um amplificador dedicado ou mesmo a um computador com *software* específico, tornando-os pouco práticos. Desta forma, o transporte destes instrumentos está dificultado, obrigando o utilizador a ter um local próprio de aplicação do método de medição. Este problema estaria resolvido se o dispositivo fosse completamente portátil, ao ponto de ser transportado dentro de um bolso do utilizador. Apresentando elevada robustez, de forma a ser manipulado sem cuidados especiais.

Em outros casos, os instrumentos apresentam um *design* agressivo podendo trazer desconforto visual. Um aparelho com boa aparência suscita outra motivação para o seu utilizador e avaliado, principalmente quando destinado à avaliação em crianças.

Há equipamentos que exigem manutenção frequente, principalmente aqueles cujo princípio de funcionamento assenta em sistemas hidráulicos. Deste modo, é necessário

verificar o estado do equipamento, caso contrário, poderá realizar-se testes de avaliação com erros de medição.

Em Portugal o custo de um dinamómetro pode variar entre os 230 € e 1058 €, segundo os valores disponíveis no mercado.

Como foi descrito anteriormente, verificaram-se alguns defeitos nos dinamómetros referidos, apresentando também custos elevados de aquisição. Contudo, o presente trabalho propõe-se anular estas deficiências, recorrendo a metodologias e tecnologias que possam contribuir para o desenvolvimento de um dinamómetro de custo reduzido, ergonómico e contendo todas as características necessárias para um bom desempenho.

Capítulo 3. Sensorização do Dinamómetro

3.1 Introdução

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um dinamómetro, para medição da força de preensão da mão. A medição de grandezas físicas, como a força, é efectuada recorrendo à utilização de elementos sensores. O sensor é o elemento de um instrumento de medição ou de uma cadeia de medição que é directamente afectado pela mensuranda.

Inicialmente realizou-se uma pesquisa, com o objectivo de encontrar a solução ou as soluções, para o órgão sensor do dinamómetro. Desta pesquisa resultaram algumas soluções, envolvendo, nomeadamente, o sensor de Hall, o piezoresistivo, o extensómetro resistivo e um transdutor de célula de carga.

Este capítulo apresenta e detalha os sensores/transdutores resultantes da pesquisa, identificando as suas vantagens e desvantagens; será também exposto, com intuito de caracterizar um transdutor de efeito de Hall, o ensaio experimental realizado com um dado sensor e magneto.

Finalmente apresenta-se a solução para o órgão sensor seleccionado, enunciando as suas principais características e os motivos que levaram à sua escolha.

3.2 Elemento Sensor

O processo de selecção do sensor a utilizar neste trabalho, foi baseado essencialmente nas seguintes características:

- Gama de medição,
- Sensibilidade,
- Repetibilidade,
- Resolução,
- Histerese,
- Linearidade,

- Condicionamento de sinal,
- Custo.

No entanto teve-se alguma atenção, relativamente ao atravancamento de todo o sistema envolvido no processo de medição, uma vez que se pretende uma solução simples e compacta, satisfazendo os requisitos já mencionados.

Seguidamente serão apresentados e detalhados os sensores/transdutores estudados, bem como o ensaio experimental realizado.

3.2.1 Sensor de Hall

O efeito de Hall manifesta-se pelo aparecimento de uma diferença de potencial V_H , perpendicular às linhas de corrente de um condutor colocado num campo de indução B (a tensão de Hall V_H depende da direcção do valor B). O efeito de Hall é a consequência da força de Lorentz que age sobre as cargas eléctricas em movimento.

Considere-se uma barra de um material semiconductor, como está representado na figura 10, na qual existe uma corrente segundo a direcção x positiva e está sujeita à acção de um campo magnético na direcção z positiva.

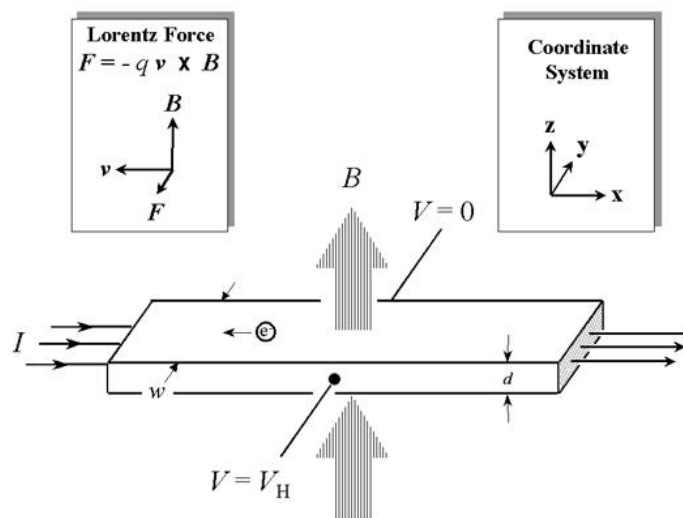


Figura 10. Princípio do efeito de Hall

Os electrões sujeitos à força de Lorentz desviam-se momentaneamente da linha da corrente na direcção y negativa, até se estabelecer a diferença de tensão entre os dois lados opostos da barra, paralelos ao fluxo de corrente. A partir daí, os electrões seguem a trajectória

na direcção x positiva, enquanto a tensão criada se mantém constante. Essa tensão representa a tensão de Hall que é a medida nos transdutores.

O transdutor de efeito de Hall é constituído por um elemento sensor, geralmente uma placa percorrida por uma corrente, nos terminais, da qual é medida a tensão de Hall, e por um magneto que produz um campo de indução B , cujo efeito sobre o elemento sensor depende da sua posição. Assim, variando a posição relativa entre o sensor e o magneto, varia a tensão de Hall.

O transdutor de efeito de Hall apresentava-se como a solução mais viável para sensorização do dinamómetro. Assim, utilizando-se um elemento sensor da *Honeywell* alimentado a 5 V (referência: SS490A e sensibilidade: $3,125 \pm 0,125$ mV/G) e um magneto da *Eclipse Magnetics* (referência: E805, dimensões: $\varnothing 6 \times 20$ mm) de forma a constituir um *transdutor de deslocamento*, cujas principais características foram avaliadas.

Para avaliação das características do transdutor de efeito Hall realizaram-se ensaios experimentais executados no Laboratório de Instrumentação para Medição (LIM) do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (DEMEGI). Utilizou-se um sistema de movimento cartesiano xyz com resolução de $1\mu\text{m}$, de forma a efectuar afastamentos e aproximações do sensor de Hall ao magneto, segundo um eixo horizontal como ilustra a figura 11, de forma controlada. Assim imobilizou-se o magneto numa estrutura amagnética e fixando o elemento sensor no sistema de movimentação. Para evitar a saturação do sensor, efectuou-se um *offset* de 1 mm, entre magneto e o elemento sensor. Os testes foram realizados a uma temperatura, que rondava os 27°C .

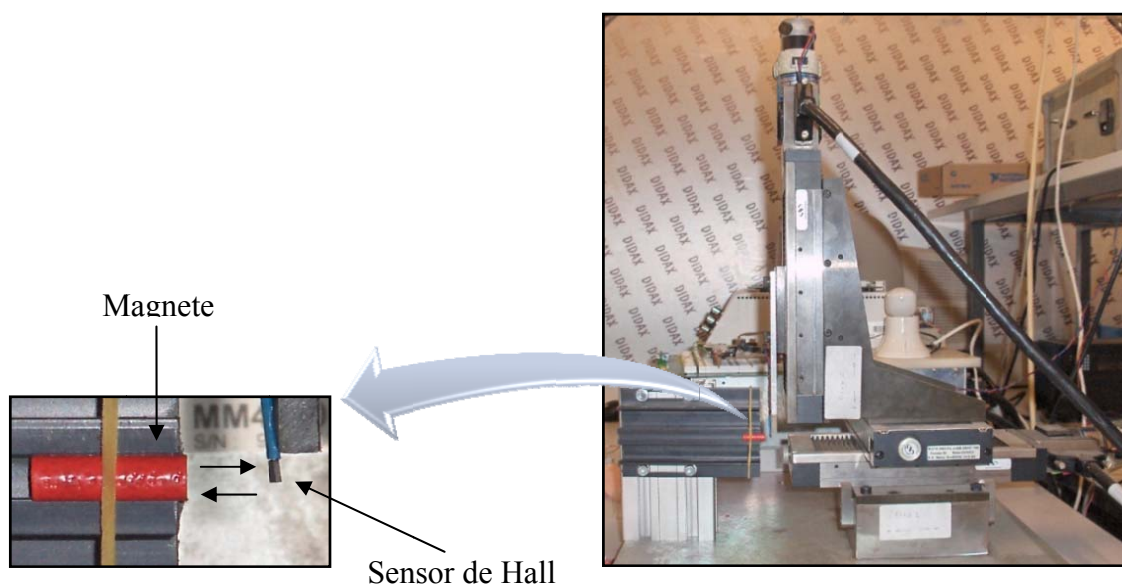


Figura 11. Aproximação do sensor de Hall ao magneto

Na figura 12 apresenta-se a evolução da tensão de saída do *transdutor de deslocamento* para um ciclo de amplitude de 7 mm, efectuando a leitura em cada incremento de 1 mm. A amplitude de 7 mm foi uma distância considerada adequada às nossas necessidades e também pelo facto desta tender para um comportamento de baixa sensibilidade.

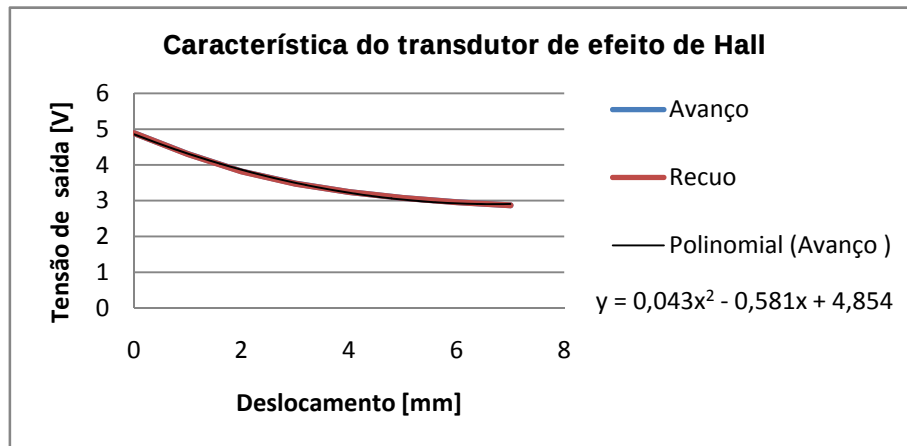


Figura 12. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 0 a 7 mm

Da análise da figura 12 ressalta que a linearização da característica traduzia erros considerados excessivos. Esta seria relativamente bem aproximada por um polinómio de segunda ordem. No entanto como não se tinha pensado na utilização de um microcontrolador, mas sim na sua implementação recorrendo a electrónica convencional a implementação de um polinómio de segunda ordem seria mais complexa que um linear. A divisão em dois tramos já permitiria uma linearização com um erro aceitável. Assim procedeu-se a sua divisão nos 3 mm. Contudo, e visando determinar a histerese efectuou-se novos ensaios, para a gama de medição entre 0 mm e 3 mm e para a gama entre 3 mm e 7 mm. As aproximações lineares para os ensaios estão representadas nas figuras 13 e 14.

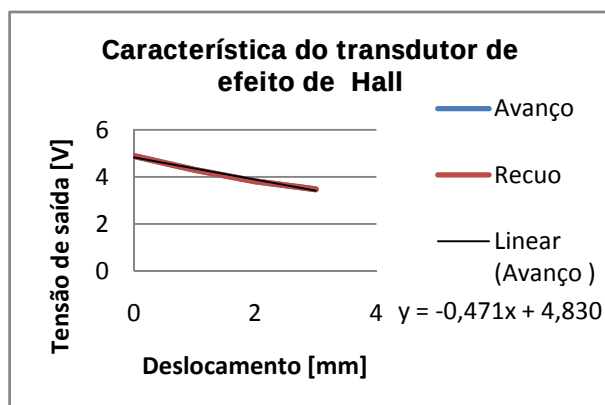


Figura 13. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 0 a 3 mm

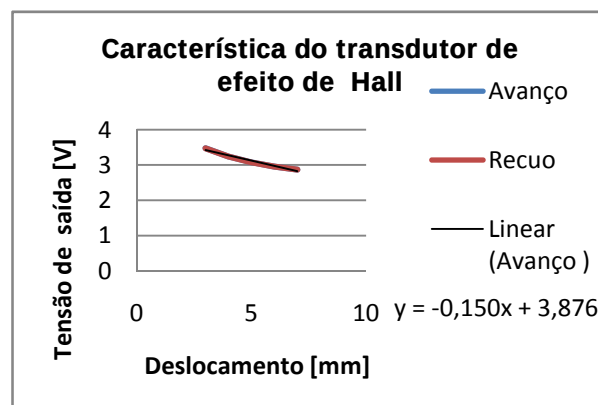


Figura 14. Características do transdutor de efeito de Hall com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 3 a 7 mm

As características metrológicas a avaliar foram a sensibilidade, a histerese e a não linearidade, cujas expressões são apresentadas na seguinte tabela.

Tabela 5. Expressões das características metrológicas

Sensibilidade	$\frac{\Delta V}{\Delta mm}$
Histerese	$\frac{\Delta V_{\text{avanço}} - \Delta V_{\text{recuo}}}{\text{gama de medição}} \times 100\%$
Não linearidade	$\frac{\Delta V_{\text{Calculado}} - \Delta V_{\text{eq. recta}}}{\text{gama de medição}} \times 100\%$

ΔV = Variação da saída

Δ_{mm} = Variação da entrada

Os resultados para as evoluções representadas nas figuras 13 e 14 são apresentados nas tabelas 6 e 7 respectivamente.

Tabela 6. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 0 mm a 3mm

Sensibilidade	-0,471 [V/mm]
Histerese	0,35 %
Não linearidade	±5,04%

Tabela 7. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 1 mm e uma gama de estudo de 3 mm a 7 mm

Sensibilidade	-0,150 [V/mm]
Histerese	0,49 %
Não linearidade	±8,5%

O procedimento efectuado com incrementos de 1mm foi também realizado com incrementos 0,1 mm.

A figura 15 apresenta a evolução total da característica, representando-se nas figuras 16 e 17 a evolução dos dois conjuntos de medição e respectiva aproximação. As tabelas 7 e 8 apresentam as características metrológicas em análise para as evoluções representadas na figura 16 e 17 respectivamente.

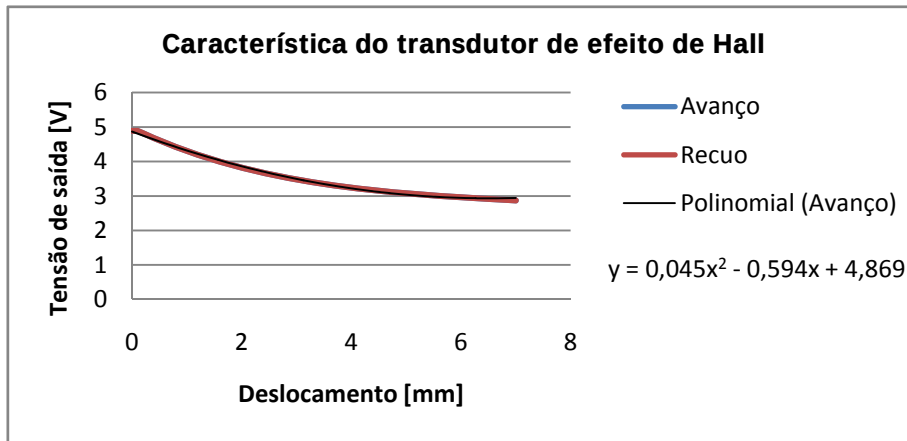


Figura 15. Característica do transdutor de transdutor de efeito de Hall, com um incremento de 0,1 mm e uma gama de estudo entre 0 mm e 7 mm

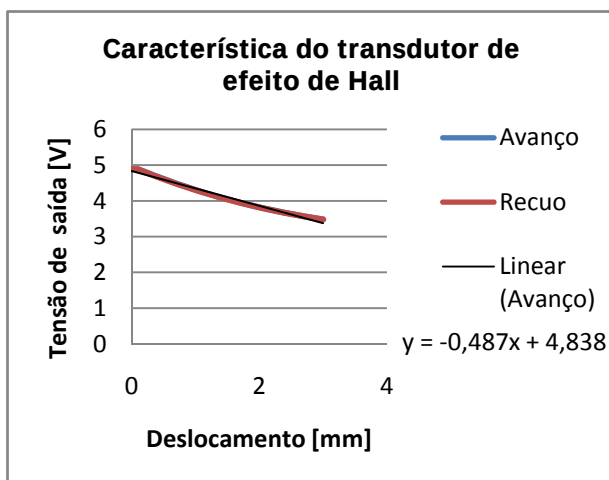


Figura 16. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 0 a 3mm

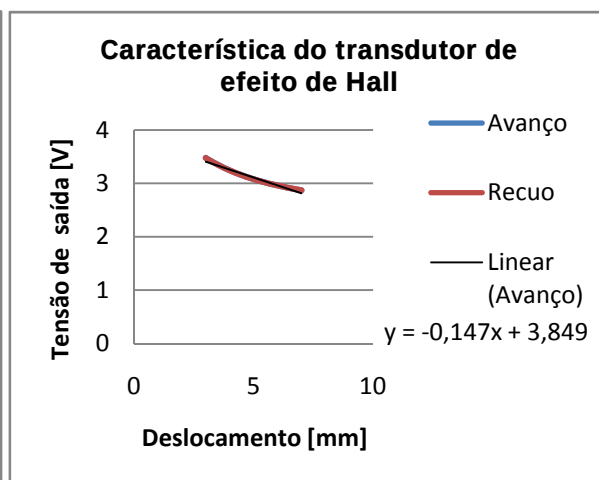


Figura 17. Característica do transdutor de efeito de Hall, com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 3 a 7mm.

Tabela 8. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 0 a 3 mm

Sensibilidade	-0,487[V/mm]
Histerese	0,57 %
Não linearidade	±7,31 %

Tabela 9. Características do transdutor de efeito de Hall obtidas no ensaio laboratorial com um incremento de deslocamento de 0,1 mm e uma gama de estudo de 3 a 7 mm

Sensibilidade	-0,147[V/mm]
Histerese	0,003 %
Não linearidade	±11,8 %

Analisando os diferentes resultados referentes ao transdutor de efeito de Hall, verifica-se que o primeiro conjunto de ensaios entre 0 mm e 3 mm apresenta uma curva aproximadamente linear. Constatando-se contudo que houve um aumento da não linearidade com a diminuição do incremento, apresentando também um nível de histerese maior. Esta diferença pode estar relacionada com condições externas aos ensaios; variação de campos magnéticos externos, variação da alimentação gerada. A sensibilidade mostrou ser de valores baixos resultando numa gama de medição reduzida.

A utilização deste transdutor de deslocamento para medição da força de forma indirecta seria efectuada através da medição do deslocamento do magneto, solidário a uma estrutura onde irá ser transmitida o efeito da força preensora. Esta solução conduziria a um sistema mecânico com alguma complexidade, de forma a traduzir a força total de prensão produzida pela mão, num deslocamento do magneto, com vista a ser detectado pelo sensor de Hall. O condicionamento de sinal, não seria muito complicado, carecendo contudo de algum espaço para a sua implementação. Outra desvantagem relacionada com aplicação do sensor de Hall seria a limitação da utilização do dinamómetro em determinados ambientes. A aproximação do dinamómetro a equipamentos com campos magnéticos, podia descalibrar o transdutor ou mesmo introduzir erros nas medições. Este equipamento mostra ser de elevada sensibilidade ao choque e restritivo na utilização de materiais a utilizar, para a sua construção mecânica uma vez que o sensor reage com erros de medição à montagem em materiais ferrosos. Com base nestas desvantagens, decidiu-se abandonar o transdutor de deslocamento de efeito de Hall, como solução para o elemento sensor primário do dinamómetro.

3.2.2 Extensómetros resistivos

Os extensómetros são sensores aplicados em corpos, em que uma acção física externa sobre esse corpo provoca uma deformação (carga, pressão, binário, deslocamento, tensão, compressão, aceleração, vibração e caudal). O extensómetro resistivo (figura 18) é uma resistência composta de uma camada fina de material condutor, depositado sobre um composto isolante, cuja resistência varia com a deformação a que é sujeito.

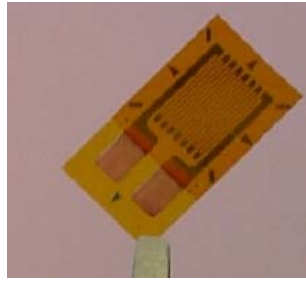


Figura 18. Extensómetro resistivo

A utilização deste sensor implica a utilização de um sistema de medição, baseado na medição de forma indirecta. O sensor seria colocado sobre uma barra de metal, destinado a medir a deformação dessa mesma barra provocada pela força exercida pela mão do paciente, relacionando, desta forma, a força com a deformação por meio de uma expressão matemática.

A aplicação deste sensor implica a construção num atravancamento mais desfavorável, uma vez que levaria à implementação de um sistema de medição indirecta. Os extensómetros resistivos apresentam uma resistência típica, sendo a resistência máxima de $5k\Omega$. Normalmente estes sensores são aplicados em pontes de *Wheatstone*, apresentando uma elevada sensibilidade, diminuindo assim a gama de medição. Tendo em conta estas desvantagens, abandonou-se esta solução procurando uma solução mais elementar com menor atravancamento.

3.2.3 Células de carga

O princípio de funcionamento das células de carga (figura 19) baseia-se na variação da resistência de um extensómetro resistivo, previamente explicado, quando submetido a uma deformação. Utilizam-se, comumente, em células de carga, quatro extensómetros ligados entre si segundo uma ponte de *Wheatstone*. O desequilíbrio da mesma, em virtude da deformação dos extensómetros, é proporcional à força que a provoca. Através da medição deste desequilíbrio obtém-se o valor da força aplicada.



Figura 19. Células de carga

A utilização deste transdutor de força, como elemento sensor no dinamómetro, implicaria um aumento dos custos, uma vez que o preço das células de carga é muito elevado. Como um dos objectivos deste trabalho é desenvolver um dinamómetro de baixo custo, abandonou-se esta solução.

3.2.4 Sensor piezoresistivo

O princípio de funcionamento do sensor piezoresistivo consiste, basicamente, na variação da resistência eléctrica de um material, devido à tensão mecânica aplicada. Este é um princípio idêntico ao do extensómetro resistivo. A aplicação deste tipo de sensor, como elemento sensor do dinamómetro, consistia numa solução, cujo sistema de medição seria baseado na medição directa, ou seja, o valor da grandeza seria obtido directamente e não através da medição de outras grandezas, que estejam relacionadas por meio de uma função com a grandeza a medir. Deste modo, contornar-se-ia os sistemas mecânicos problemáticos para a implementação de todo o processo envolvido na medição, apenas seria necessário um sistema mecânico capaz de transmitir a força realizada pela mão na área sensível do sensor. Trata-se de um sensor com dimensões muito reduzidas, necessitando de um condicionamento de sinal muito simples, deste modo o espaço reservado para a electrónica do sistema de medição seria pequeno.

Não obstante esta última solução ser promissora, um novo tipo de sensor piezoresistivo encontrado no mercado veio tornar-se a solução adoptada e que passamos a descrever.

O sensor em questão é designado por **FlexiForce** (figura 20) fabricado pela *Teksacan*.

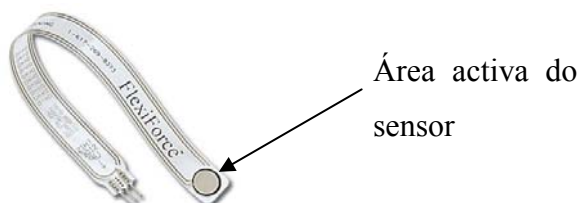


Figura 20. Sensor piezoresistivo *FlexiForce*

Este sensor é construído com duas camadas de substrato, composto por um filme de poliéster. Em cada camada é aplicado um material condutor (prata) e uma camada de tinta

Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora

sensível à pressão. A área activa do sensor está definida na área de círculo de cor prateada, conforme se observa na figura 20. Por baixo dessa área encontra-se uma tinta sensível à pressão. Este sensor comporta-se como uma resistência variável de um circuito eléctrico, na ausência de carga no sensor a sua resistência é cerca de 20 M Ω ; quando aplicada uma carga, a resistência é-lhe inversamente proporcional. O sensor *Flexiforce* está dimensionado para suportar uma carga limite de 400 kgf. Quanto à gama do sensor, esta varia entre 0 kgf e 120 kgf, medindo forças estáticas ou dinâmicas.

As características fornecidas pelo fabricante referentes ao sensor *FlexiForce* são:

- Linearidade < $\pm 5\%$
- Repetibilidade < $\pm 2.5\%$
- Histerese < 4.5 %
- Tempo de resposta < 5 μsec

A evolução da resistência em função da carga aplicada é conforme representada na figura 21.

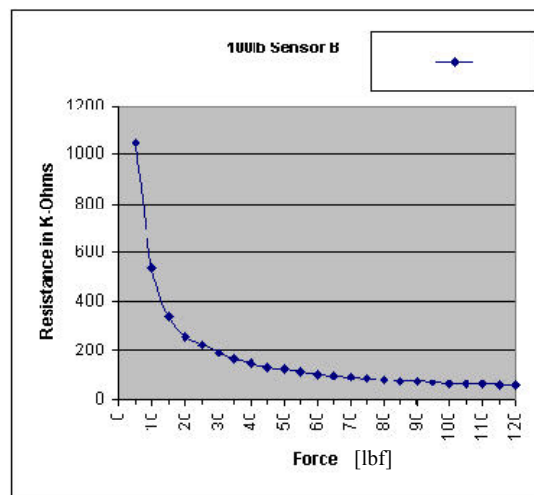


Figura 21. Característica do sensor *FlexiForce* fornecida pelo fabricante

O condicionamento de sinal preconizado pelo fabricante é muito simples, sendo conforme à figura 22.

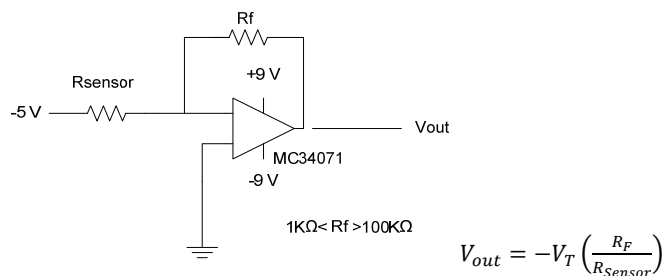


Figura 22. Condicionamento recomendado pelo fabricante

Este sensor apresenta-se sobre a forma de uma tira fina com as seguintes dimensões:

- ✓ Comprimento 197 mm,
- ✓ Largura 14 mm,
- ✓ Espessura 0,208 mm,
- ✓ Diâmetro sensível 9.53 mm.

O comprimento do sensor pode ser ajustado a cada aplicação, basta cortar nas dimensões pretendidas.

3.3 Conclusão

Com o fim de obtenção do equipamento, foram abordadas várias possibilidades para o elemento sensor a integrar no dinamómetro, e desenvolvido no presente trabalho. Alguns sensores necessitam de dispositivos auxiliares, para implementar todo o processo de medição. No entanto verificou-se que, com aplicação de um sensor piezoresistivo, todo o processo de medição vem simplificado, sendo apenas necessário garantir que a força seja transmitida numa área circular sensível. A gama de variação da resistência do sensor é muito alta, podendo variar entre 20MΩ e 5kΩ, permitindo assim obter-se uma sensibilidade muito elevada face as outras soluções abordadas.

A característica do sensor apresenta-se não linear, no entanto, para forças reduzidas, a característica é próxima do linear, manifestando uma elevada sensibilidade, o que é muito vantajoso tendo em vista detectar a força de preensão de pacientes muito fragilizados. Para forças mais elevadas, a curva torna-se aproximadamente linear. No entanto no que diz

Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora

respeito à repetibilidade e à histerese, estas apresentam valores reduzidos, de modo a não interferirem de forma significativa nos resultados das medições de força realizadas.

Trata-se de um sensor de dimensões reduzidas, baixo custo, de valores aceitáveis de repetibilidade e histerese para este caso em particular, de fácil aquisição nos representantes e de condicionamento de sinal muito simples. Este sensor não é aplicado em nenhum dos dinamómetros disponíveis no mercado, proporcionando assim que este projecto seja uma inovação desta gama de equipamentos, tendo sido possível desenvolver um protótipo novo que futuramente poderá ser comercializado.

Capítulo 4. Princípio de Funcionamento

4.1 Introdução

No capítulo anterior, foram apresentadas algumas soluções para o elemento sensor. Dessas soluções foi seleccionado o sensor que reunia as melhores características, com o objectivo de ser implementado no dinamómetro a desenvolver no presente trabalho.

Com base nesta solução desenvolveram-se e modelaram-se todos os componentes do dinamómetro, de forma a obter componentes simples e compactos, tornando o princípio de funcionamento de dinamómetro elementar.

Neste capítulo apresentam-se inicialmente, os principais componentes do dinamómetro. Posteriormente, passa-se à explicação do princípio de funcionamento do dinamómetro, baseado no sensor piezoresistivo *FlexiForce*.

4.2 Princípio de funcionamento do dinamómetro

A figura 23 ilustra alguns dos componentes do dinamómetro modelados no *software SolidWorks*. Estes componentes são os principais intervenientes do princípio de funcionamento do dinamómetro, no entanto, posteriormente, será apresentado o dinamómetro com todos os seus componentes.

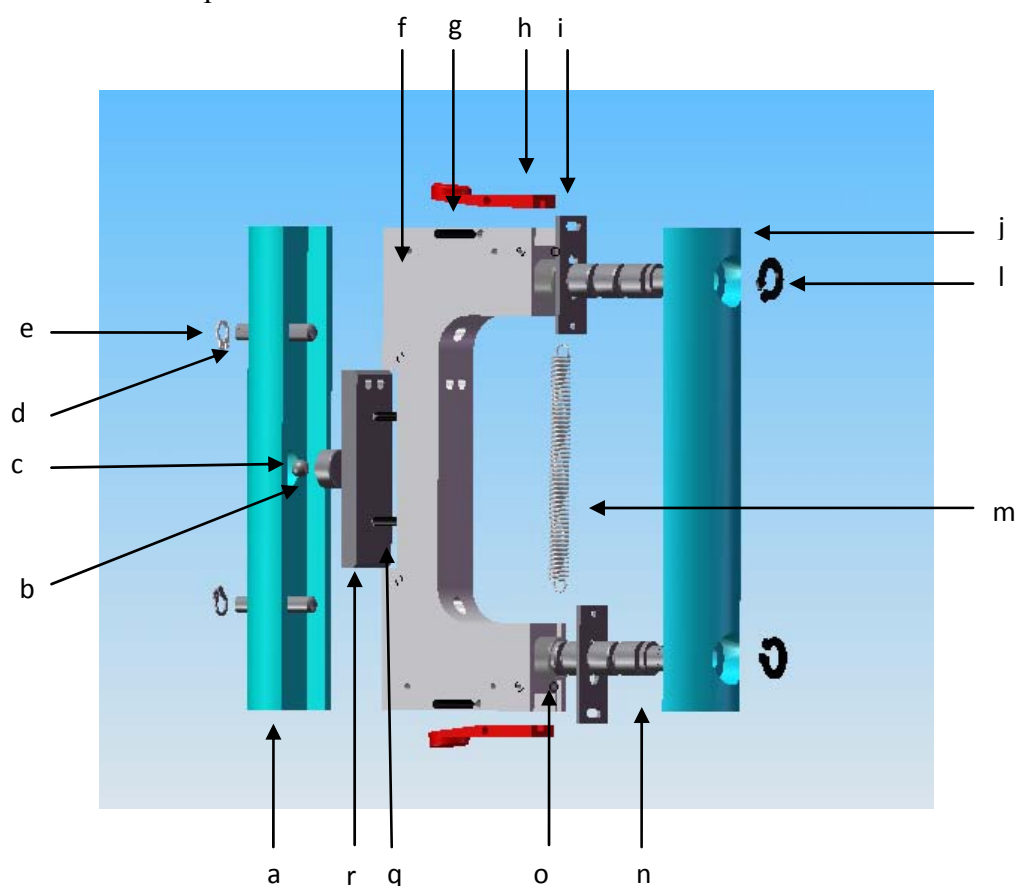


Figura 23. Principais componentes envolvidos no princípio de funcionamento do dinamómetro

Legenda:

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| a- Pega inferior | i- Guilhotina |
| b- Pastilha superior | j- Pega superior |
| c- Esfera | l- Anel elástico |
| d- Cavilha de guiamento | m- Mola |
| e- Anel elástico | n- Veio de ajuste |
| f- Corpo principal | o- Casquilhos |
| g- Veio do botão | q- Cavilha elástica |
| h- Botão | r- Pastilha inferior |

O princípio de funcionamento do dinamómetro é baseado na aplicação de um sensor piezoresistivo *FlexiForce*. Como foi demonstrado no capítulo anterior, este sensor apresenta um comportamento não linear. Porém, este comportamento não é relevante porque o condicionamento do sensor vai ser realizado recorrendo a um microcontrolador, deste modo faz-se a correcção da não linearidade, utilizando uma correcção programada para este fim do sensor. A utilização de um microcontrolador, facilitou a utilização de um *display* (LCD) para visualização da informação. Devido à informação que se pretende ilustrar e ao espaço disponível para a electrónica, foi seleccionado um LCD alfanumérico de 2 linhas e 16 caracteres.

Com a aplicação deste tipo de sensor foi necessário implementar um sistema mecânico capaz de transmitir toda a força exercida pela mão, na área sensível do sensor, de uma forma simples, compacta e principalmente com o mínimo de atrito. Este sistema é constituído basicamente por cinco componentes, sendo eles a pega inferior, a esfera, a pastilha superior, a pastilha inferior e a cavilha de guiamento. A pega inferior é um componente construído em liga de alumínio da série 7000, e está em contacto com a mão do avaliado. Esta configuração foi concebida, com vista a proporcionar conforto no acto da realização do teste de força de preensão da mão. Na realização de um teste de avaliação, comprime-se o aparelho entre as duas pegas transmitindo a força exercida pela mão, à esfera, que por sua vez, transmite a força à pastilha superior, estando esta em contacto com o sensor. A figura 24 pretende elucidar todo o sistema envolvido, na transmissão da força da pega inferior ao sensor.

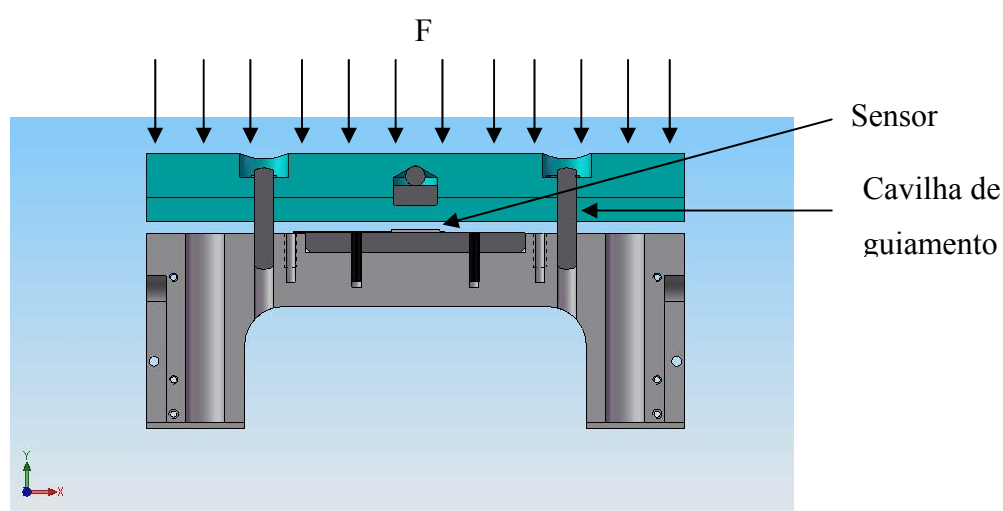


Figura 24. Sistema de transmissão da força de preensão da mão

O conjunto esfera e pastilha superior permite transmitir uma força direccionada e principalmente localizada, ou seja, a área sensível do sensor vai ser pressionada sempre no mesmo local e com a mesma área, de forma a não alterar as condições iniciais estabelecidas. No que respeita à pastilha inferior, esta tem como função servir de base ou apoio do sensor evitando deslocamentos. Deste modo garante-se que a pastilha superior pressiona o sensor sempre no mesmo local. A pastilha inferior e a pastilha superior foram construídas em aço cromoníquel (DIN 14NiCr14), com um acabamento superficial polido, de forma a não danificar o sensor. A cavilha de guiamento, tem como função manter o posicionamento do conjunto de actuação permitindo um guiamento com o mínimo de atrito.

O dinamómetro vai ser utilizado por várias faixas etárias, apresentando diferentes anatomias de mão, deste modo foi desenvolvido um sistema mecânico de ajuste, com o objectivo de permitir ao aparelho a possibilidade de regulação para os diferentes tamanhos de mão. Este sistema de ajuste comporta dois veios de ajuste e de duas guilhotinas. O veio de ajuste foi construído em aço cromoníquel (DIN 14NiCr14) e tem maquinado cinco entalhes, que definem os afastamentos de regulação, através de incrementos de 7 mm. Pode-se variar do afastamento mínimo de 59 mm até ao afastamento máximo de 89 mm, a distância entre pegas. Quando se pretende um determinado afastamento é necessário efectuar o desencravamento dos veios de ajuste, recorrendo às duas guilhotinas construídas a partir de uma fita em aço mola. Estas guilhotinas têm duas posições: uma posição de encravamento correspondente ao furo de menor diâmetro, outra posição quando existe concentricidade entre o veio de ajuste e o furo de maior diâmetro. A comutação entre estas duas posições é realizada recorrendo a dois botões, construídos em liga de alumínio, existentes nos topos do corpo principal do dinamómetro, e uma mola de tracção que liga as duas guilhotinas. Quando estes são pressionados deslocam as guilhotinas para a posição de desencravamento. Recorrendo à translação da pega superior, desloca-se o conjunto pega superior e veios de ajuste para a posição pretendida. Quando são libertados os botões, a mola está à tracção obrigando as guilhotinas a deslocarem-se para a posição de encravamento, encaixando no entalhe do veio de ajuste. Este modo de actuação encontra-se representado na figura 25.

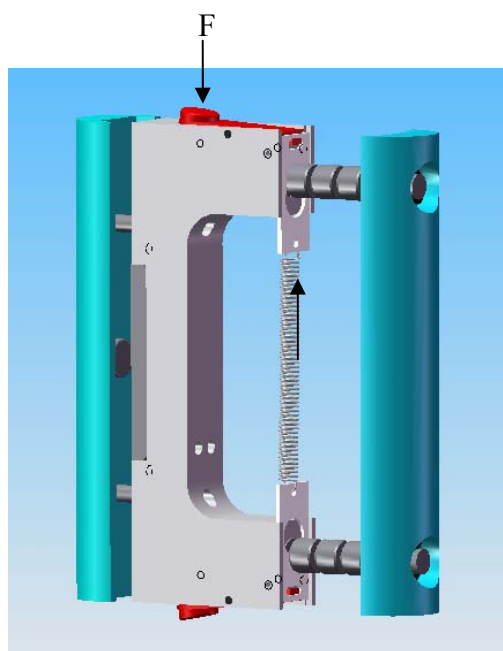


Figura 25. Mecanismo de encravamento/desencravamento dos veios de ajuste

Depois de conhecidos os principais componentes e as suas funções, passa-se à apresentação, na figura 26, do aspecto final do dinamómetro ajustado para a posição mínima entre pegas, incluindo a tampa superior, tampa inferior, LCD e os botões de comando. Este conjunto apresenta um peso de 270 gf e tem as seguintes dimensões: 110 mm x 59 mm x 22 mm.

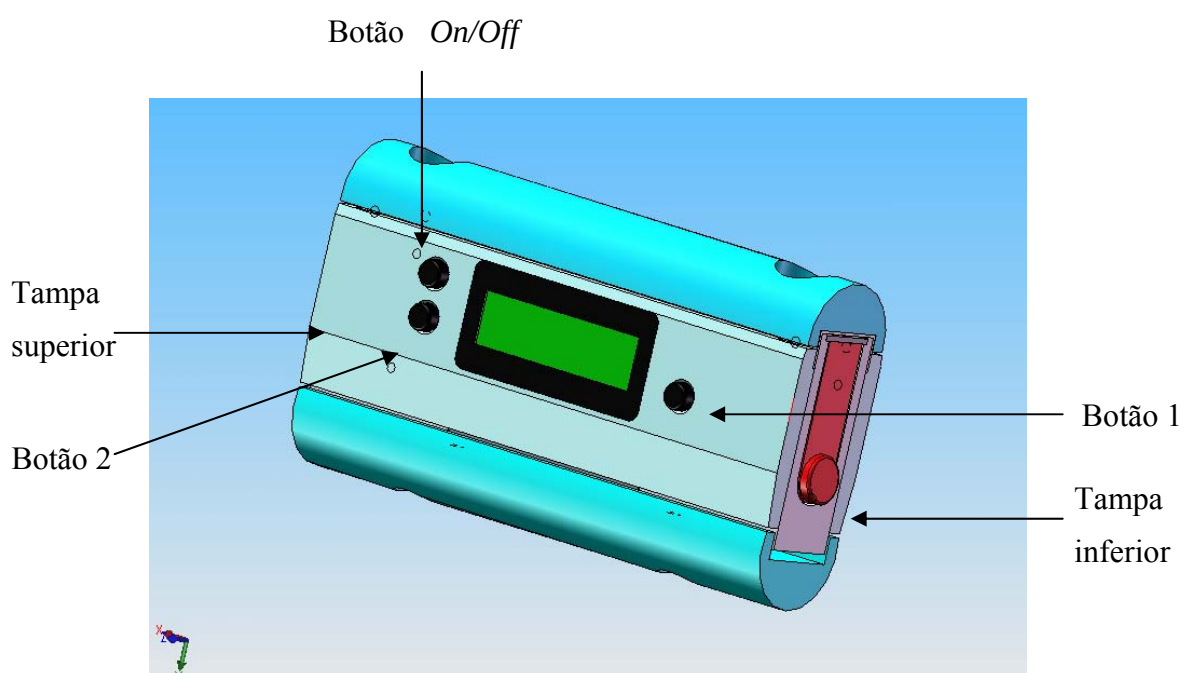


Figura 26. Aspecto final do dinamómetro

4.3 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados todos os componentes mecânicos do dinamómetro, explicando o seu princípio de funcionamento. Foi possível conhecer todo o sistema de medição, verificando-se que a cinemática envolvida é elementar. Concluiu-se que os mecanismos envolvidos no dinamómetro são bastante simples, nomeadamente o sistema de regulação entre pegas. Por último, verificou-se que o aspecto final do dinamómetro é muito agradável, apresentando uma estrutura compacta, peso reduzido e de dimensões reduzidas.

Capítulo 5. Projecto Mecânico e Dispositivos Electrónicos

5.1 Introdução

Este capítulo está dividido em dois grandes tópicos: o projecto mecânico do dinamómetro e o projecto dos dispositivos electrónicos inerentes ao condicionamento de sinal do sensor e interface com o utilizador. Relativamente ao projecto mecânico, será apresentado o dimensionamento dos principais componentes, recorrendo ao Método de Elementos Finitos utilizando o *software CosmosWorks*.

No que diz respeito ao projecto dos dispositivos electrónicos, será apresentado e pormenorizado todo o circuito eléctrico e os principais componentes referentes ao condicionamento de sinal do sensor. Como se trata de um condicionamento de sinal recorrendo a um microcontrolador, será descrito o método de programação, bem como o programa desenvolvido.

5.2 Estrutura mecânica

Um dos objectivos deste trabalho é desenvolver um dinamómetro que tenha como principais características: tamanho reduzido, portabilidade, capacidade de adaptação anatómica, peso reduzido, reduzidas necessidades de manutenção, compatível com os grupos etários e nutricionais particulares e, robustez mecânica compatível com o formato e o ambiente de utilização. Deste modo, o processo de desenvolvimento e modelação baseou-se, essencialmente, nas características mencionadas anteriormente e no tipo de sensorização aplicada no dinamómetro.

Inicialmente foi necessário definir alguns parâmetros, nomeadamente, o afastamento mínimo e máximo de ajuste entre pegas. O afastamento mínimo foi baseado em alguns estudos publicados sobre essa matéria. Estes recomendam que o afastamento mínimo deve ser baseado na posição dois do dinamómetro *Jamar*. A posição dois do *Jamar* é aproximadamente 48 mm, no entanto, o nível mínimo do dinamómetro do presente trabalho

ficou ligeiramente acima do valor recomendado, sendo esse valor cerca de 59 mm. Este aumento deveu-se, essencialmente ao aumento do espaço necessário para a parte electrónica. O afastamento máximo entre pegas, esse foi baseado no afastamento máximo dos dinamómetros disponíveis no mercado, fixando-se em 89 mm. Depois de definidos estes parâmetros, passou-se à modelação de todos os componentes recorrendo ao *software SolidWorks*.

5.2.1 Dimensionamento dos componentes

Os cálculos da estrutura global foram iterativos e começaram por ser apenas informativos, de forma a ter-se uma ideia sobre a resistência dos componentes às cargas pretendidas e uma percepção da resistência necessária para os futuros componentes a projectar. Posteriormente, quando todos os mecanismos foram idealizados e definidos, passou-se à análise de tensões e deformações, já nas suas condições de funcionamento. Relativamente aos materiais, estes foram seleccionados de forma a que o dinamómetro apresentasse um peso reduzido, uma vez que alguns materiais de massa específica baixa manifestavam uma resistência insuficiente. Modelaram-se os componentes com o objectivo de conseguir elevada rigidez estrutural.

A análise das tensões e deformação dos componentes foi um processo baseado na simulação de um teste de avaliação da força preensão da mão, ou seja, simulou-se a solicitação exercida pela mão de um paciente nas pegas do dinamómetro. Para a realização desta simulação fixou-se a pega inferior, (identificada pelas setas verdes), e aplicou-se uma força máxima de 1000 N na pega superior, (identificada pelas setas cor-de-rosa), como ilustra a figura 27. Esta força máxima foi baseada na força máxima de um indivíduo saudável. Relativamente à malha, os seus elementos fixaram-se em 4,21 mm, admitindo uma tolerância de 0,21 mm

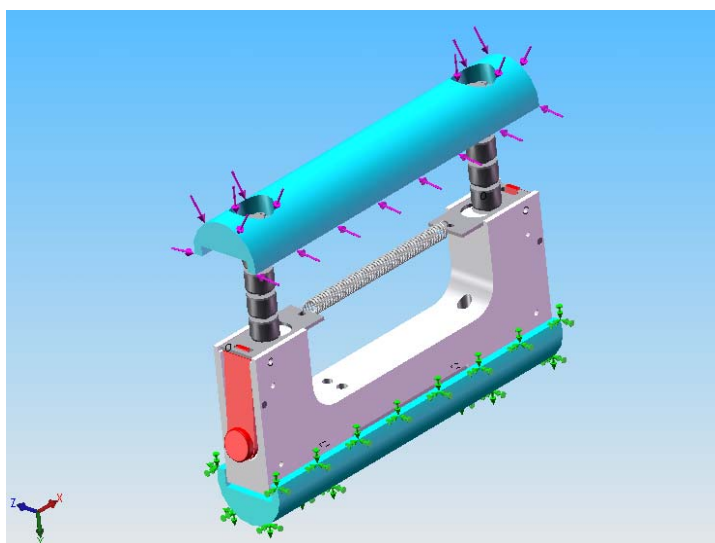


Figura 27. Restrições aplicadas na estrutura completa para análise de tensões e deformações

Apresentadas as restrições, passa-se à apresentação dos resultados obtidos das análises de tensões admissíveis pelo critério de *von Mises* e as deformações, recorrendo ao Método de Elementos Finitos.

Inicialmente apresenta-se a análise da estrutura completa do dinamómetro, seguindo-se apresentação de alguns componentes críticos que não são possíveis de identificar na figura. Os restantes componentes de menor responsabilidade ao nível de tensões e deformações, encontram-se apresentados no anexo B. É de salientar que todos os componentes apresentados, terão os cálculos baseados nas restrições ou condições iniciais descritas anteriormente.

5.2.2 Análise de tensões na estrutura completa

A figura 28 ilustra o resultado da análise de tensões da estrutura completa do dinamómetro.

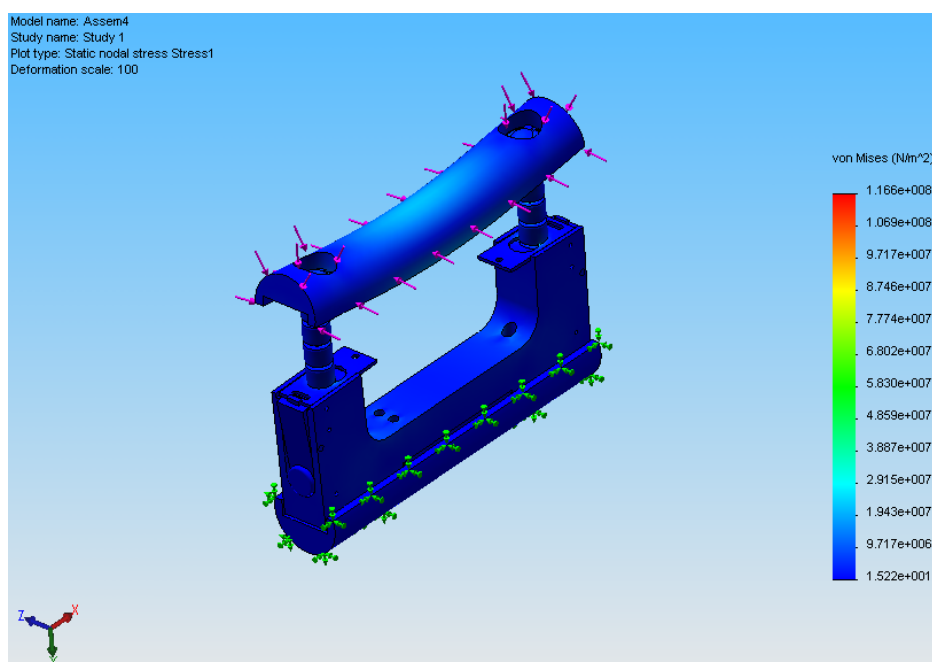


Figura 28. Resultado da análise de tensões na estrutura completa com um factor de escala de 100

Recorrendo à figura, verifica-se que a estrutura completa do dinamómetro apresenta uma tensão máxima de $1,2 \times 10^8 N/m^2$.

5.2.3 Análise de deformações na estrutura completa

A análise de deformações da estrutura completa do dinamómetro está apresentada na figura 29. Da análise da figura verifica-se uma deformação máxima de $45 \times 10^{-6}m$.

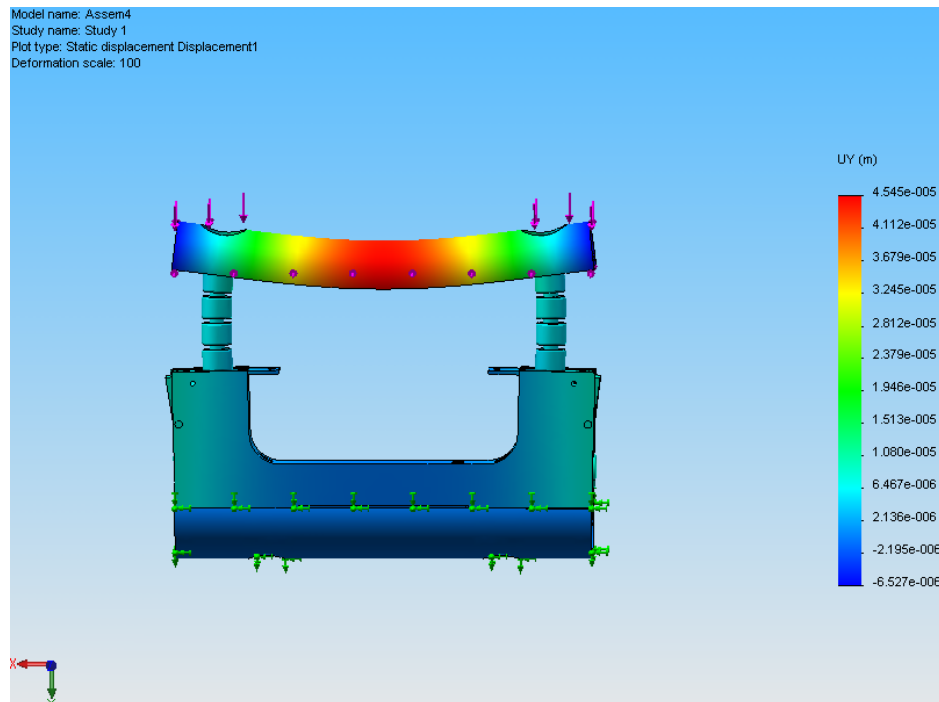


Figura 29. Resultado da análise de deformações na estrutura completa, relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala de 100

5.2.4 Análise de tensões no corpo principal

O corpo principal foi desenvolvido em forma de C, recorrendo a uma liga de alumínio da série 7000 com uma tensão de cedência $14,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, de modo obter uma elevada resistência estrutural, para suportar a solicitação a que está sujeito e, ao mesmo tempo possuir um peso reduzido. Esta configuração permitia também o alojamento de todos os componentes inerentes à electrónica no seu interior.

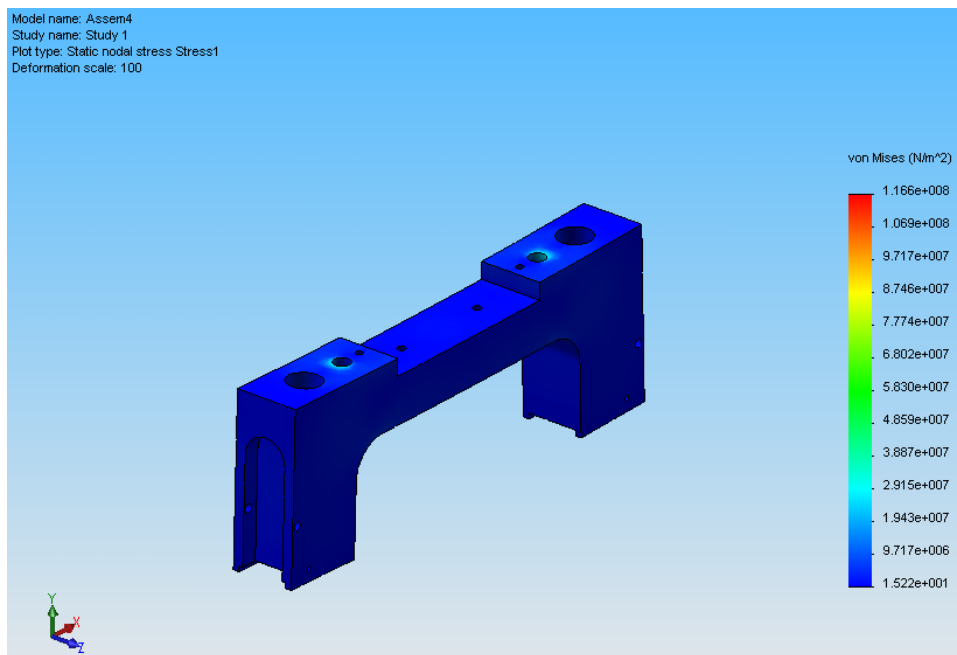


Figura 30. Resultado da análise de tensões no corpo principal com um factor de escala de 100

Recorrendo à figura 30, verifica-se que o corpo principal apresenta uma deformação máxima na periferia dos furos destinados à cavilha de guiamento. Apresentando um valor de aproximadamente de $2,9 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Este valor é perfeitamente admissível, visto que a tensão de cedência do material do corpo principal é muito superior.

5.2.5 Análise de deformações do corpo principal

A deformação do corpo principal foi calculada em relação ao eixo xx. A deformação relativamente a este eixo podia trazer alguns problemas de atrito aos veios de ajuste. Analisando a figura 31 verifica-se que a deformação máxima ocorre nas extremidades do corpo principal, apresentando valores próximos de $6 \times 10^{-6}m$. Esta deformação é muito reduzida, permitindo o deslizamento dos veios de ajuste com um atrito mínimo.

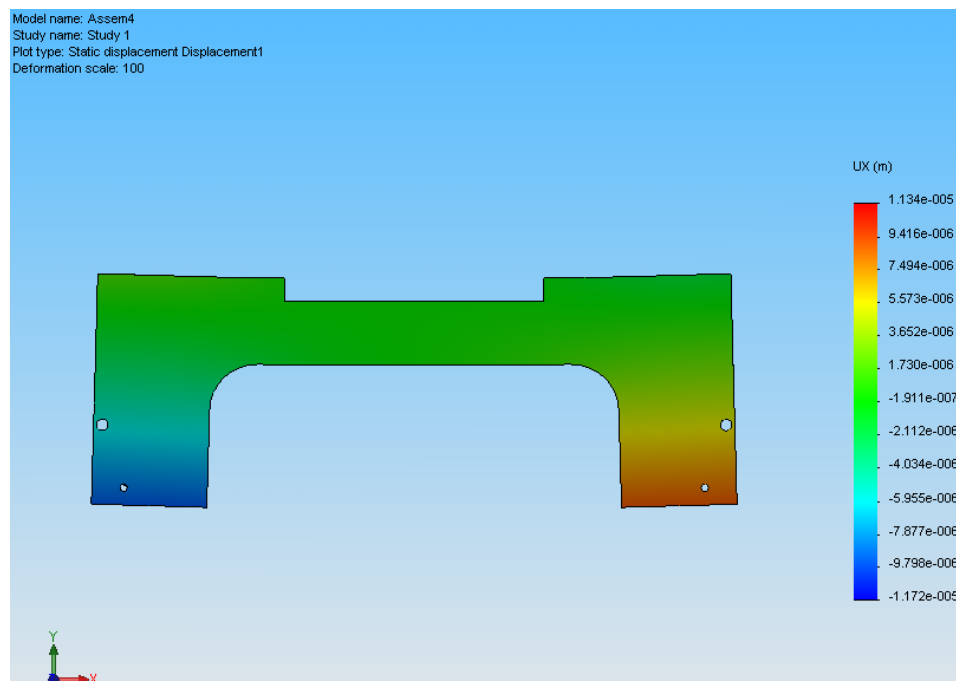


Figura 31. Resultado da análise de deformações do corpo principal, relativamente ao eixo dos xx e com um factor de escala de 100

5.2.6 Análise de tensões da pega superior

A pega superior é um dos componentes que está em contacto com a mão do avaliado. Esta pega está apoiada nos veios de ajuste, podendo apresentar alguns problemas ao nível de flexão. A pega referida foi construída no mesmo material da outra pega, apresentando uma tensão cedência de $14,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.

A figura 32 ilustra o resultado da análise de tensões da pega superior. Recorrendo à figura verifica-se que a tensão máxima ocorre na zona central da pega superior. Esta zona apresenta uma tensão máxima de aproximadamente de $2,9 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.

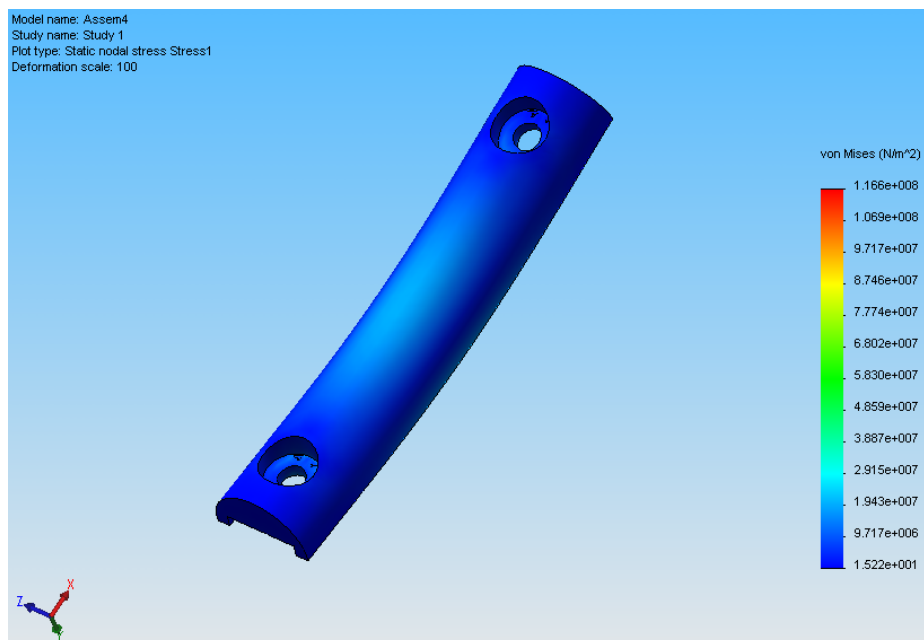


Figura 32. Resultado da análise de tensões da pega superior com um factor de escala de 100

Verifica-se que esta tensão máxima é muito reduzida face à tensão de cedência, apresentado pelo material no qual a pega superior foi construída. Esta diferença, está relacionada com ampla superfície para o apoio da mão.

5.2.7 Análise de deformações da pega superior

A pega superior foi calculada de forma a ter elevada resistência à flexão, para não introduzir rotações apreciáveis nos seus apoios que introduzem deformações nos veios de ajuste. Recorrendo a figura 33, verifica-se que a pega superior apresenta uma deformação máxima na zona central, apresentando uma deformação aproximadamente de $45 \times 10^{-6}m$.

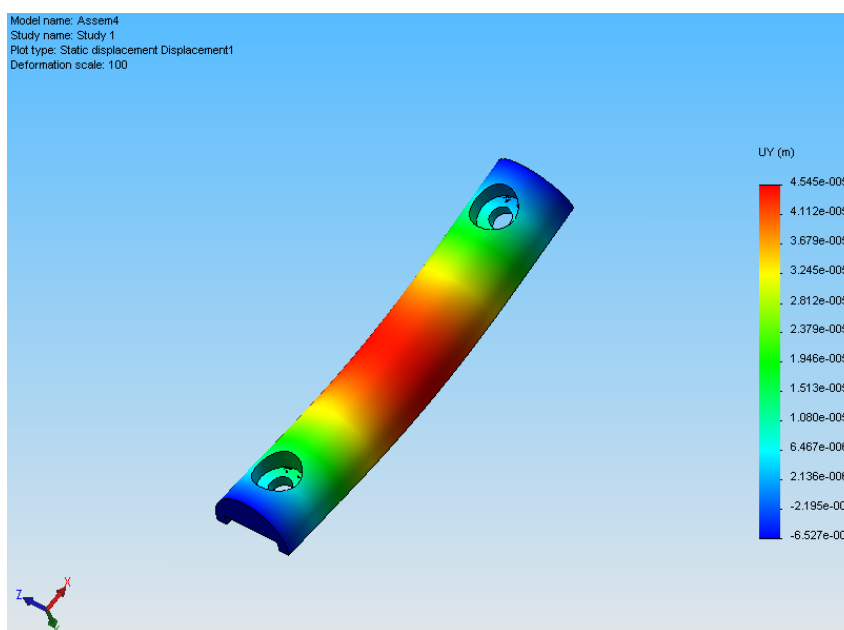


Figura 33. Resultado da análise de deformações da pega superior, relativamente ao eixo dos yy e com um factor de escala de 100

Trata-se de uma deformação bastante reduzida, levando a concluir que as rotações provocadas pela pega superior no veio de ajuste são praticamente nulas, permitindo assim o seu bom funcionamento. Desta forma, conclui-se que a pega superior apresenta rigidez estrutural, para a solicitação a que está sujeita.

5.2.8 Análise de tensões do veio de ajuste

O veio de ajuste tem como objectivo ajustar a distância entre pegas, de forma a que o dinamómetro possa adaptar-se aos diferentes tamanhos de mão. Para tal, desenvolveu-se um veio com entalhes. Inicialmente estes entalhes apresentavam-se como uma zona crítica, pois tratava-se de uma solicitação a compressão podendo apresentar alguns problemas a nível de encurvadura. Com vista a reduzir estes problemas, construiu-se o veio de ajuste, em aço cromoníquel (DIN 14NiCr14). Trata-se de um aço com boas propriedades mecânicas e boa resistência à corrosão apresentando uma tensão de cedência de $6,2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

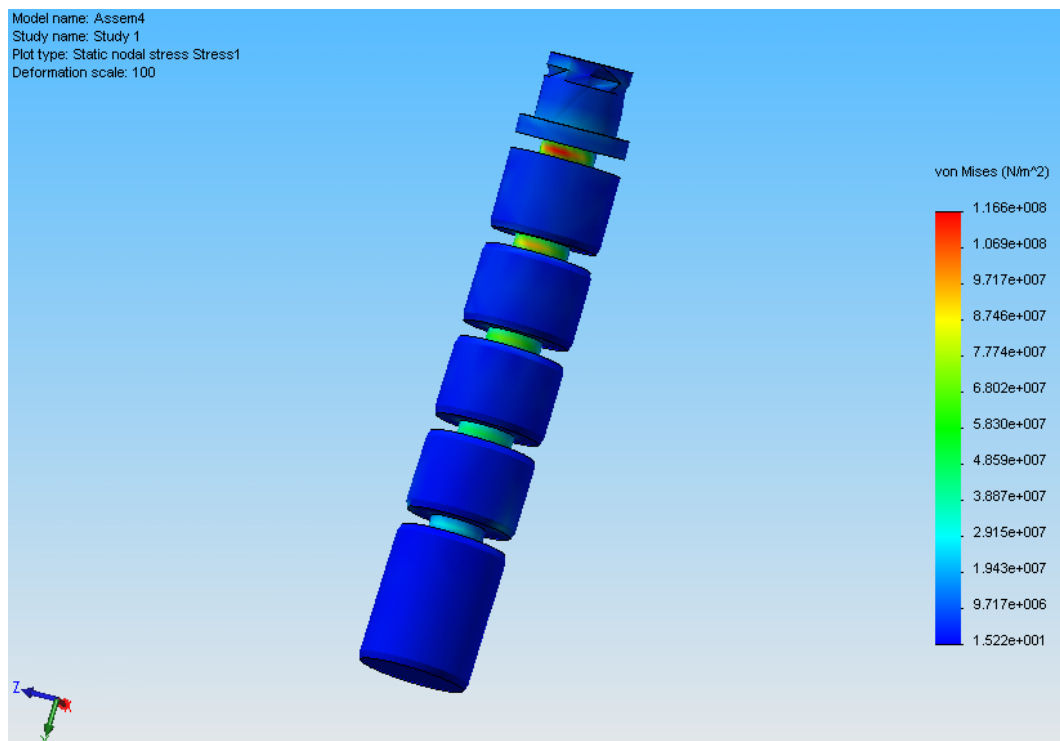


Figura 34. Resultado da análise de tensões do veio de ajuste com um factor de escala de 100

Recorrendo à figura 34, verifica-se que a zona mais crítica está associada ao entalhe mais próximo da pega superior, apresentando uma tensão máxima de $1,2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Através destes resultados, verifica-se que a tensão máxima é cerca de cinco vezes inferior à tensão de cedência do material no qual o veio de ajuste foi construído.

5.2.9 Análise de deformações do veio de ajuste

No que diz respeito às deformações do veio de ajuste, estas foram analisadas segundo o eixo dos xx e o eixo dos yy. A figura 35 apresenta, a deformação máxima identificada relativamente ao eixo dos xx, sendo o seu valor de aproximadamente de $1,7 \times 10^{-6}$ m.

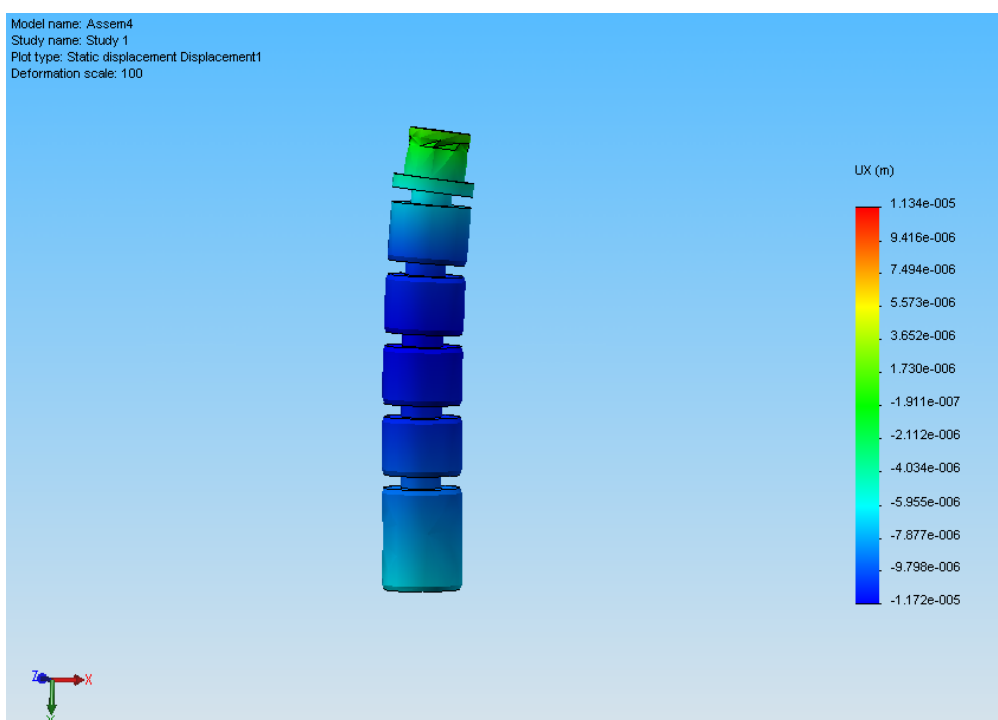


Figura 35. Resultado da análise de deformações do veio de ajuste relativamente ao eixo dos xx com um factor de escala de 100

As solicitações no veio de ajuste induzidas pela rotação da pega superior são muito reduzidas, concluindo que o atrito entre o veio de ajuste e os casquilhos é mínimo. Desta forma conclui-se que o veio de ajuste apresenta elevada rigidez estrutural para a solicitação a que está sujeito.

5.2.10 Análise de tensões da guilhotina

A guilhotina foi desenvolvida, com vista a realizar o encravamento do veio de ajuste na posição para o qual é seleccionado. Este encravamento é conseguido através do encosto do rasgo de menor diâmetro da guilhotina, à zona de menor diâmetro do veio de ajuste, apoiada por uma das faces ao corpo principal do dinamómetro. Apresentando, assim, uma área muito reduzida para suportar a solicitação, levantando algumas dúvidas relativamente à ocorrência ou não de encalcamento nessa área considerada crítica. O material de construção da guilhotina foi aço de mola que apresenta uma tensão de cedência de $1,3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.



Figura 36. Resultado da análise de tensões da guilhotina com um factor de escala de 100

Recorrendo à figura 36, verifica-se que a zona crítica de concentração de tensões da guilhotina está situada na periferia do diâmetro menor, configurada pela área apoiada do veio de ajuste, rondando o seu valor máximo os $2,9 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Este valor é muito inferior à tensão de cedência do material no qual a guilhotina e os veios de ajuste foram construídos, evidenciando uma boa resistência à solicitação a que está sujeita.

5.2.11 Análise de deformações da guilhotina

Analizando a figura 37 verifica-se que a deformação existente na guilhotina é muito reduzida apresentando uma deformação de aproximadamente $11 \times 10^{-6}m$, para a deformação máxima.

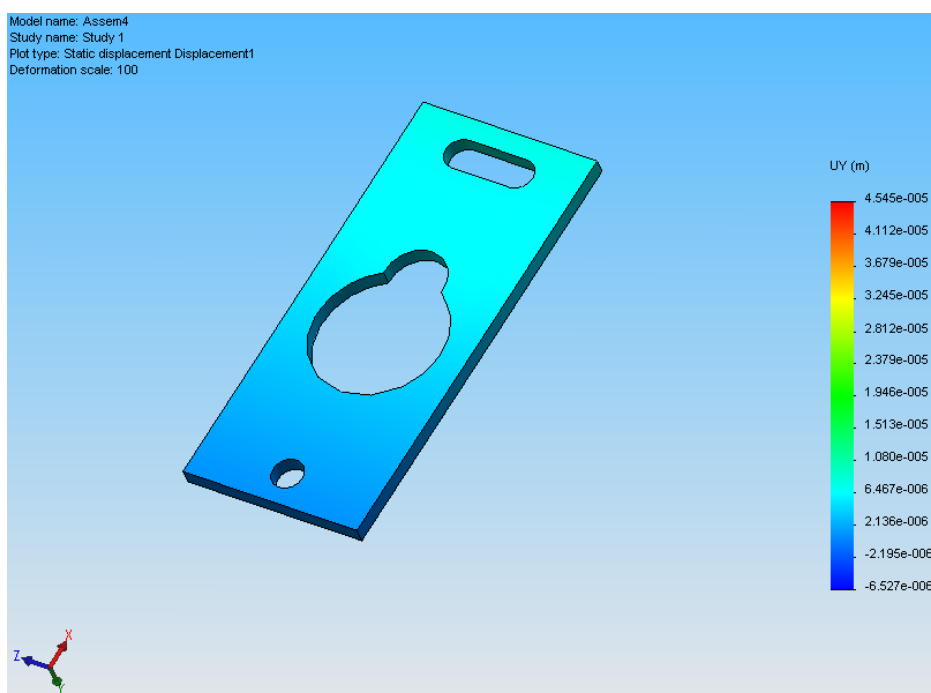


Figura 37. Resultado da análise de deformações da guilhotina relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala de 100

Estas deformações são de tal forma reduzidas, permitindo assim, uma boa rigidez estrutural relativamente à solicitação a que está sujeita.

5.3 Dispositivos Electrónicos

Dada a exigência do espaço deixado para a incorporação de toda a electrónica do dinamómetro (alimentação, condicionamento de sinal, LCD, microcontrolador e botões) esta tarefa foi uma tarefa que veio a tornar-se bastante complicada. O sistema electrónico foi desenvolvido de forma a ser simples, de pequenas dimensões e com necessidades a nível de potências muito reduzidas.

A aplicação de vários componentes em circuitos eléctricos pode levar à necessidade de diferentes valores de tensão e de polaridades distintas. No caso desta aplicação necessitava-se de dois níveis de tensões com polaridades simétricas. Para tal, recorreu-se a componentes auxiliares que estabelecessem esses níveis de tensão.

A electrónica do dinamómetro pode ser vista como constituída por nove secções: bateria, bomba de carga, regulador de tensão, conversor de tensão, amplificadores operacionais, *switch* electrónico, microcontrolador, LCD e um sensor piezoresistivo. A figura 38 apresenta um diagrama com o intuito de fornecer uma melhor compreensão da interacção entre as diferentes secções assim como dos diferentes níveis de tensão necessários.

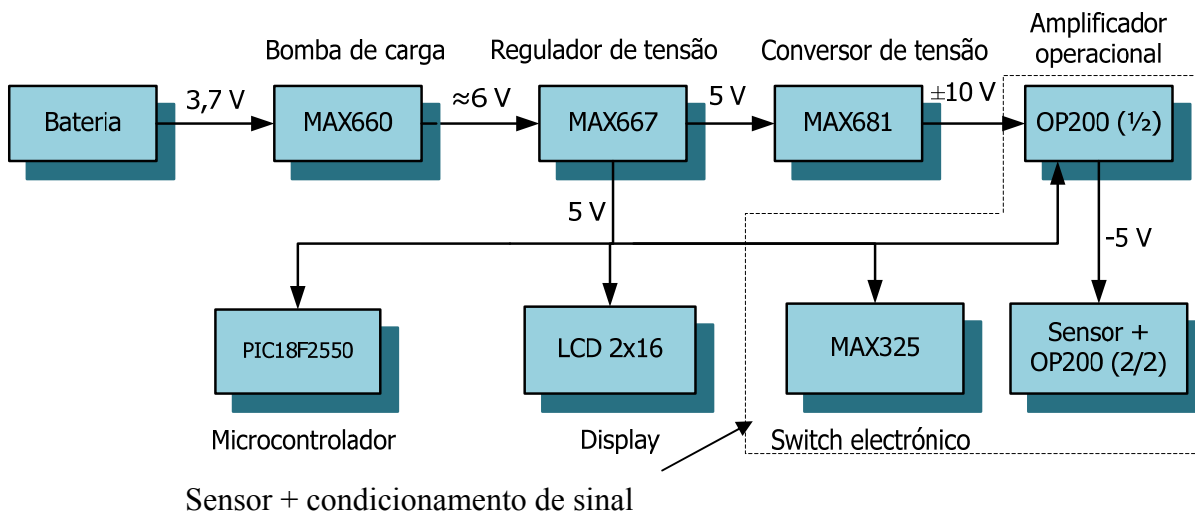


Figura 38. Secções da electrónica do dinamómetro

A bateria é dos componentes mais importantes, pois é a responsável pelo fornecimento da energia necessária para o funcionamento do dinamómetro. Encontrar uma bateria recarregável capaz de alimentar este sistema e ao mesmo tempo com dimensões compatíveis com o alojamento, foi muito difícil. A bateria que é normalmente utilizada pelos *iPods* tem uma carga de 550 mA/h a 3,7 V, de dimensões: 45 mm x 20 mm x 6 mm. Com este avançamento foi possível alojar a bateria dentro da tampa inferior, embora já esteja estudada outra solução recorrendo a duas baterias recarregáveis utilizadas nos telemóveis para conseguir uma autonomia superior. O consumo deste sistema ronda os 40 mA/h que é um valor compatível com o que a bateria pode fornecer.

A bomba de carga é responsável pela elevação da tensão da bateria para um nível superior, próximo de 6 V. O regulador de tensão MAX667 faz a regulação da tensão para 5 V; com este nível de tensão alimenta-se o LCD; microcontrolador o *switch* electrónico e o conversor de tensão MAX681. Este último converte os 5V em -10V e +10V, necessários para alimentar os amplificadores operacionais do condicionamento de sinal do sensor.

Como mencionado no capítulo 2, o fabricante do sensor piezoresistivo recomenda um circuito de condicionamento de sinal para o sensor. Com o objectivo de reduzir a potência, optou-se por substituir o amplificador recomendado por um com maior desempenho, embora mais caro. Este novo amplificador necessita de ser alimentado através de uma tensão simétrica. O *switch* electrónico, tem como função fazer alternância entre dois níveis de ganho no amplificador, permitindo que o dinamómetro possa ser utilizado por pessoas debilitadas, de forma a detectar níveis de força de prensão de mão muito reduzidas. Por este motivo, resolveu-se implementar duas escalas, de forma a obter-se duas sensibilidades diferentes. Esta alteração de escala é realizada, através da variação do ganho de um dos amplificadores, recorrendo à alteração da resistência R_F (conforme a figura 22), comutando o *switch* electrónico.

5.3.1 Microcontrolador

Um PIC (*Programmable Intelligent Computer*) é um circuito integrado, produzido pela *Microchip Technology Inc.*, que pertence à categoria dos microcontroladores. Ou seja, um componente integrado que, num único dispositivo, contém todos os circuitos necessários para realizar um sistema digital programável completo. O PIC pode ser visto externamente como um circuito integrado TTL ou CMOS normal, mas internamente dispõe de todos os dispositivos típicos de um sistema microprocessador:

- Um CPU (*Central Processor Unit* ou Unidade de Processamento Central) cuja finalidade é interpretar as instruções do programa;
- Uma memória PROM (*Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Somente para Leitura) na qual irá memorizar de maneira permanente as instruções do programa;
- Uma memória RAM (*Random Access Memory* ou Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa, isto é, valores que podem ser alterados;
- Uma série de pinos de I/O (entrada e saída) para controlar dispositivos externos;
- Uma série de dispositivos auxiliares ao funcionamento, como por exemplo, gerador de relógio (clock), bus, contador, etc.

O PIC está disponível numa ampla gama de modelos, de forma adaptar-se às exigências de projectos específicos. Os diferentes tipos de PIC's diferem na quantidade de memória interna (programa e dados), na velocidade de processamento, na quantidade de pinos de entrada/saída (I/O), na alimentação, nos periféricos, na arquitectura e no *set* de instruções. Existem os modelos pequenos, identificados pela sigla PIC12xx e dotado de 8 pinos, até chegar a modelos maiores com a sigla PIC18xx dotados de 40 pinos.

A selecção do microcontrolador foi feita tendo por base algumas considerações, designadamente: dimensão, possuir um conversor analógico/digital e um mínimo de dezanove pinos de entrada/saída. Foi realizada uma pesquisa, recorrendo ao *site* da *Microchip*, com o objectivo de encontrar um microcontrolador que responda a estes requisitos. O PIC seleccionado foi o de referência PIC18F2550 cujas características mais relevantes são:

- Arquitectura de 16 bit,
- Memória Flash (32K),
- 24 Portos de E/S,
- 2 Módulos de PWM,
- 1 ADC 10 Bit,
- 4 Temporizadores,
- Velocidade até 48MHz (12 MIPS),
- Alimentação 2,2 – 5,5 V,
- 28 Pinos.

A Figura 39 apresenta o *pinout* do microcontrolador PIC18F2550.

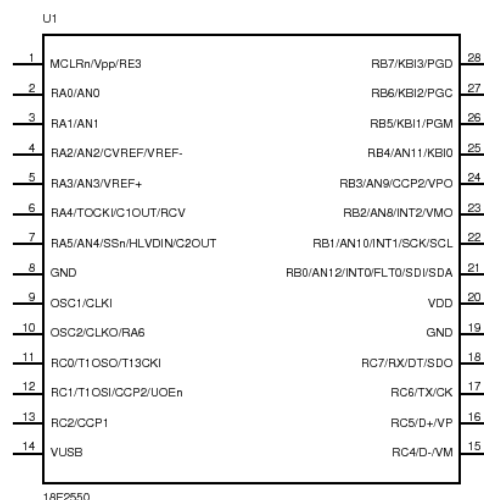


Figura 39. Pinout do microcontrolador PIC18F2550

5.3.2 Compilador

A tarefa de programação dos microcontroladores pode ser executada em várias linguagens, tais como o *Assembler*, *C* e *Basic* que são as linguagens mais usadas. Normalmente, depois do programa ser escrito, necessita-se de o introduzir no microcontrolador. Esta tarefa requer algum cuidado, porque o microcontrolador só permite carregar programas no formato (*.hex), assim, torna-se necessário recorrer a um compilador e a um programador/gravador. O compilador transforma as informações geradas pelo programa em *opcode* (códigos operacionais hexadecimais de 14 bit) em hexadecimal (*.hex). No mercado existem soluções em que o editor de código já possui várias funções integradas; além de serem editores de código, também são compiladores, como é o caso do *software MikroC* utilizado no presente trabalho. Para além do editor/compilador, a empresa *MikroElektronica*, também comercializa uma placa de desenvolvimento. A figura 40 apresenta o aspecto do *software MiKroC* e a placa de desenvolvimento.

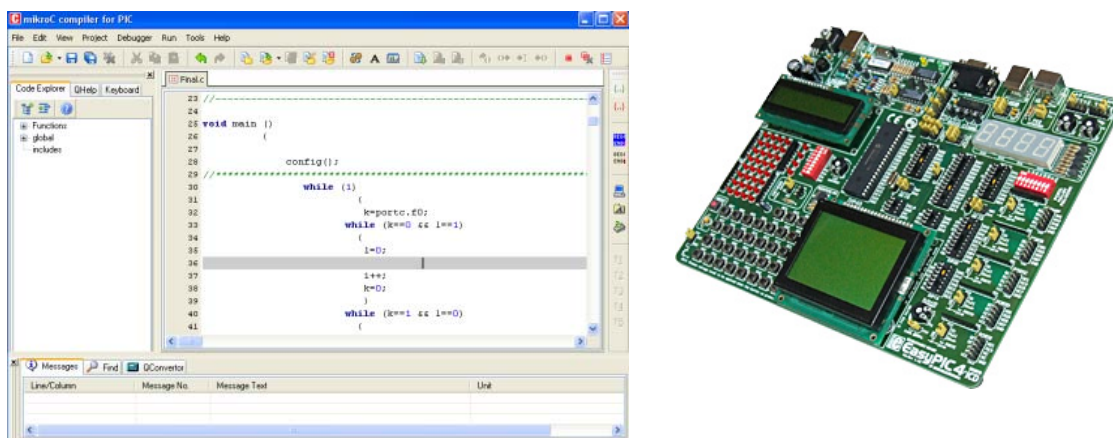


Figura 40. Aspecto do *software MikroC* e placa desenvolvimento da *Mikroelektronica*

Todos os testes iniciais foram implementados nesta placa, para a familiarização foram seguidos os exemplos fornecidos com a placa de desenvolvimento que utilizava o PIC877. A passagem para o PIC18F2550, não foi tarefa fácil uma vez que surgiram novos problemas nomeadamente em termos de configurações, que foram ultrapassadas com uma leitura atenta do *datasheet*.

A versão de teste do sistema completo foi montada numa placa *breadboard*. A figura 41 ilustra o aspecto final do sistema electrónico que veio permitir projectar a placa de circuito impresso a incluir no dinamómetro.

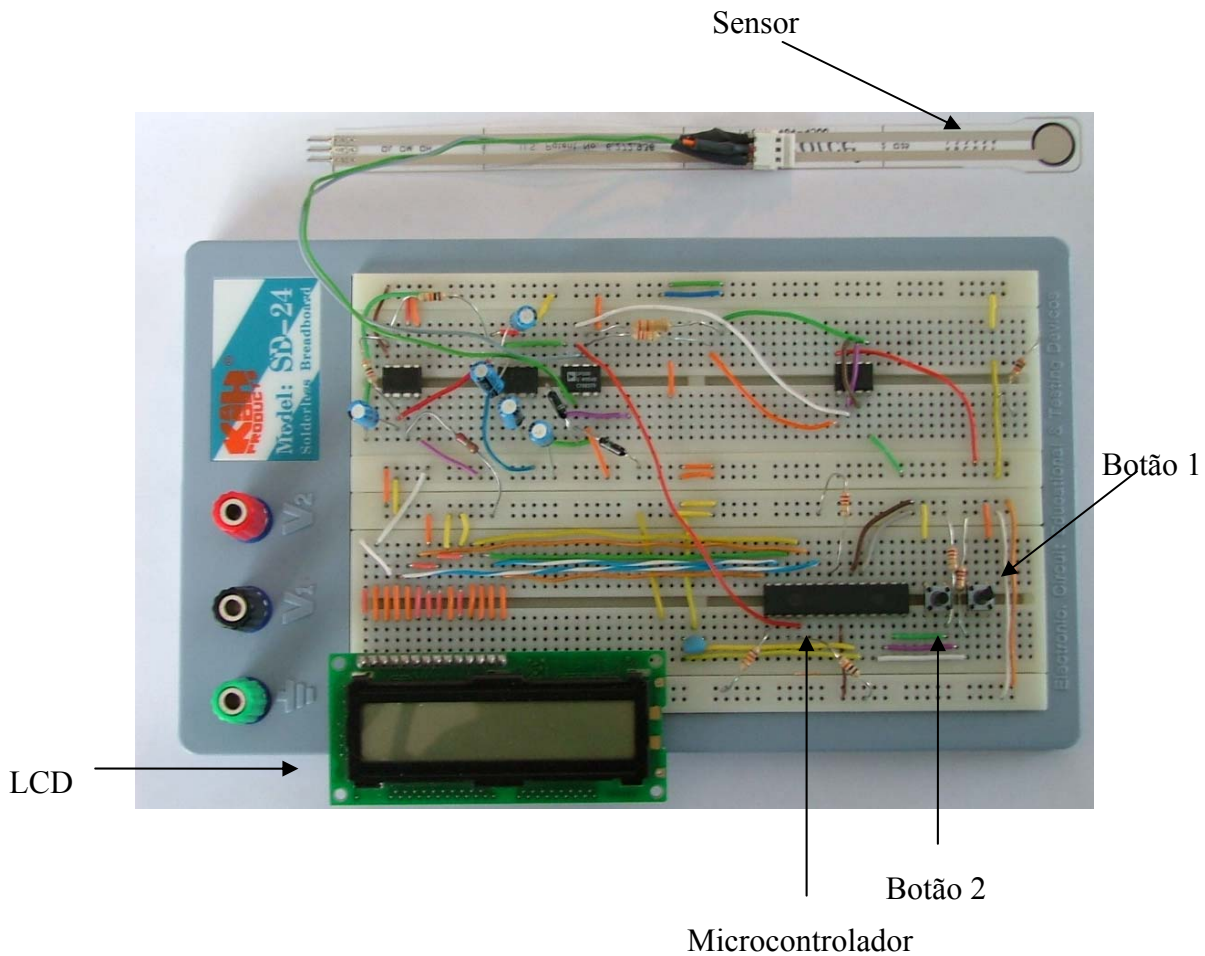


Figura 41. Aspecto da placa com o circuito a implementar no dinamómetro

5.3.3 Programa desenvolvido

Com o intuito de desenvolver o programa, foram inicialmente avaliadas as funções que seria necessário implementar. No mínimo, o aparelho deveria ter capacidade de medir a força preensora máxima desenvolvida pela mão do avaliado e a memorização do resultado dessa medição. Uma vez que a electrónica do aparelho integra um microcontrolador, foi decidido tirar proveito deste, implementando outras funções. Estas constituem: a possibilidade de realizar três testes consecutivos com a memorização dos dados para posteriormente apresentar no LCD. A figura 42 procura através de um *Grafcet* simplificado, apresentar a estrutura do programa instalado no PIC18F2550.

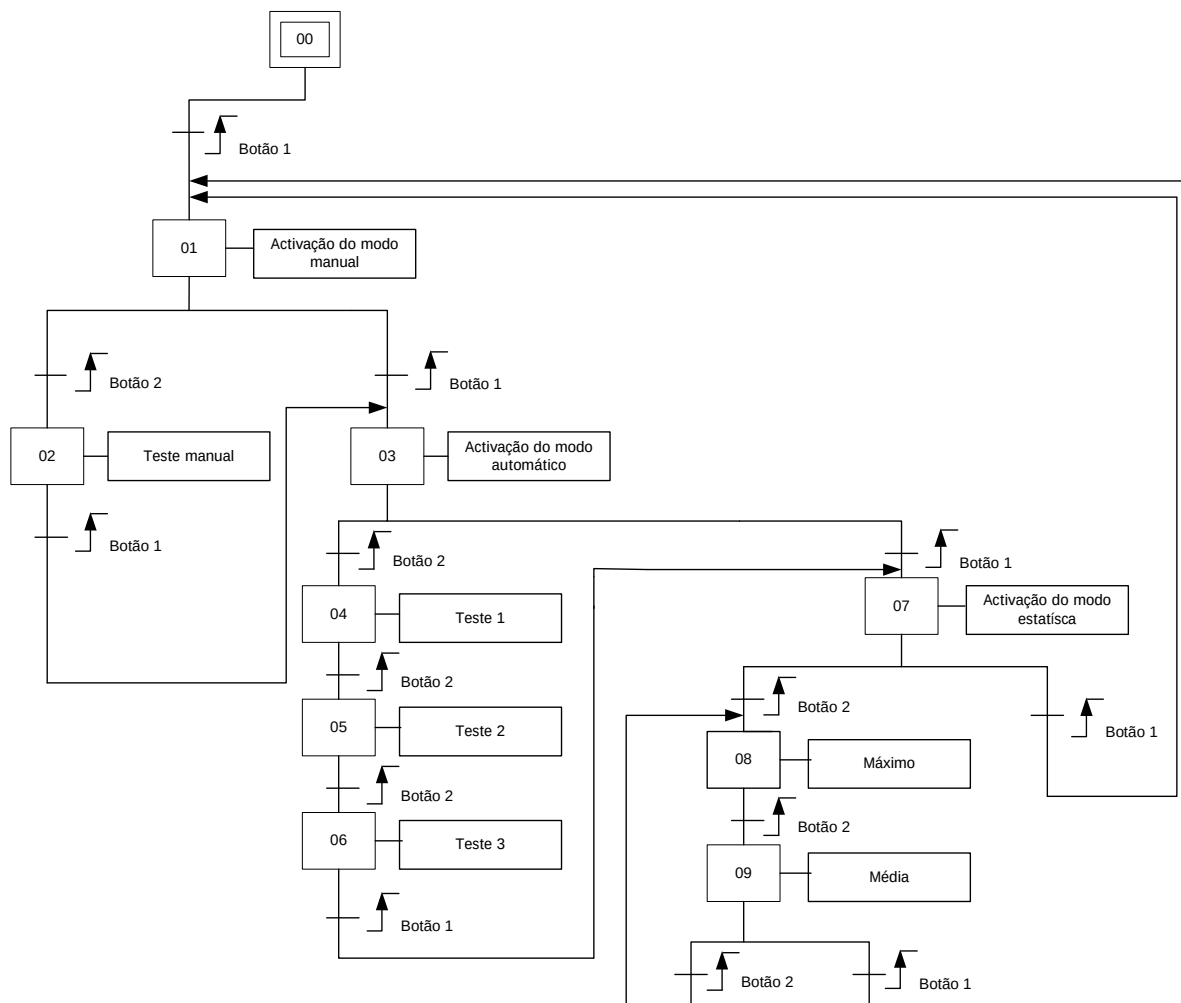


Figura 42. Gráfet simplificado da estrutura do programa instalado no PIC18F2550

Uma vez determinadas as funções que o programa deveria desempenhar, partiu-se para a criação do algoritmo para implementar no microcontrolador. O programa produzido está dividido numa rotina principal -“main”- e cinco subrotinas. Uma descrição detalhada de cada componente do programa poderá ser encontrada no próprio programa apresentado no anexo C, aqui será apenas feita uma descrição geral.

No programa principal (*main*) são controlados os diferentes modos de funcionamento, através de uma transição ascendente provocada pelo botão 1.

A subrotina “config”, tem como objectivo configurar todo o sistema envolvido na programação, ou seja, nesta rotina são definidas as portas de entrada e saída do microcontrolador, configura-se o LCD e o conversor analógico digital de 10 *bits* e inicializa-se as variáveis globais.

Na subrotina “manual” são programados os procedimentos do modo manual. Nesta rotina realiza-se a leitura do valor máximo da força para um determinado teste de preensão, para posteriormente ser tratado e escrito no LCD.

A subrotina “teste” implementa o modo automático; nesta rotina são realizados três testes de preensão de força no qual é registado e apresentado o valor máximo de cada teste. Não existe tempo limite para a realização de cada teste, decorrendo a validação no início do teste seguinte.

A subrotina “estatística” está relacionada com o modo “estatística” que tem por objectivo calcular o valor máximo dos testes realizados na subrotina “teste” e a respectiva média.

A subrotina “valor” tem como objectivo o tratamento e escrita no LCD de todos os resultados das operações mencionadas anteriormente, apresentando assim todos os valores dentro de uma gama de medição, entre os 0,1 kgf a 99,9 kgf.

Uma vez que se usa uma bateria como fonte de alimentação do dinamómetro, implementou-se um algoritmo de forma a escrever uma mensagem no LCD alertando o utilizador, quando o nível da bateria não for suficiente para disponibilizar aos seus terminais uma tensão de aproximadamente 5 V. A mudança de escala foi implementada em todas as rotinas na qual é feita a aquisição do sinal do sensor. Isto é conseguido automaticamente fazendo a comutação da resistência R_F , através de um switch electrónico, variando desta forma o ganho de um dos amplificadores automaticamente.

5.3.4 Esquema eléctrico do dinamómetro

A figura 43 apresenta o esquema eléctrico do dinamómetro recorrendo ao *software Eagle 4.16rs*.

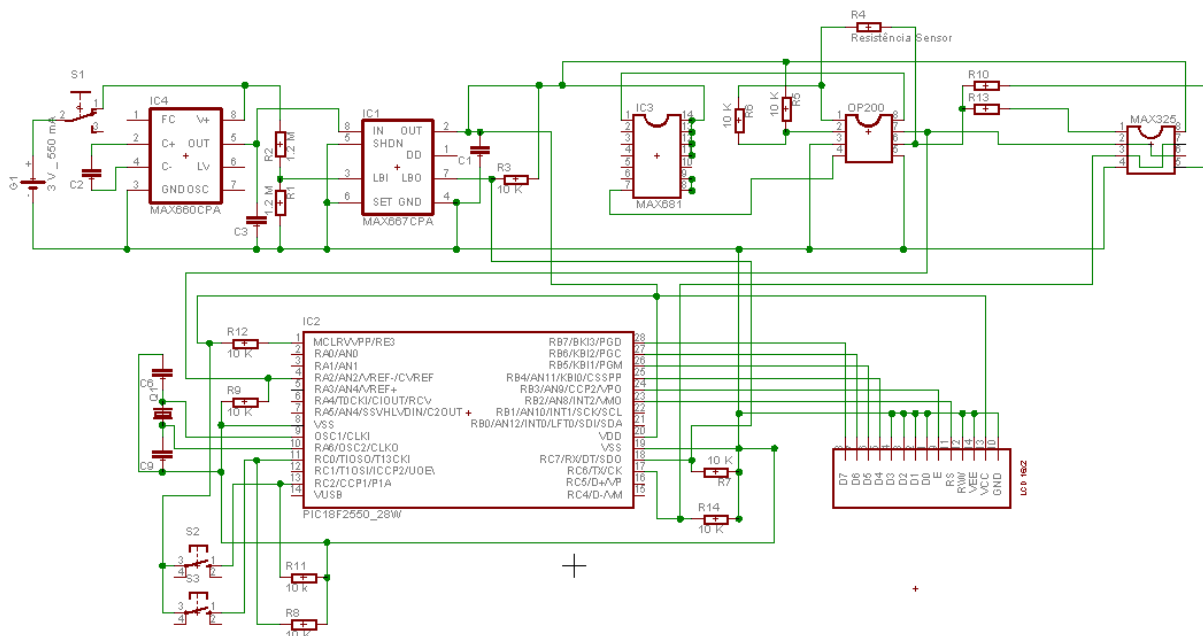


Figura 43. Esquema eléctrico do dinamómetro

5.3.5 Placa de circuito impresso

Como já foi referido, a electrónica do dinamómetro envolve bastantes componentes eléctricos ocupando muito espaço para o seu alojamento. Uma vez que o espaço reservado é reduzido, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso com vista a compactar este circuito recorrendo, sempre que possível, a componentes de montagem em superfície. Para tal recorreu-se ao *software Eagle 4.16r2*. A figura 44 ilustra o aspecto final da placa de circuito impresso desenvolvida. Esta placa apresenta pistas condutoras inferiormente e superiormente com uma largura de 0,3 mm. As pistas superiores são identificadas pela cor castanha, a cor azul identifica as pistas inferiores. As dimensões da placa são: 70 mm x 22 mm.

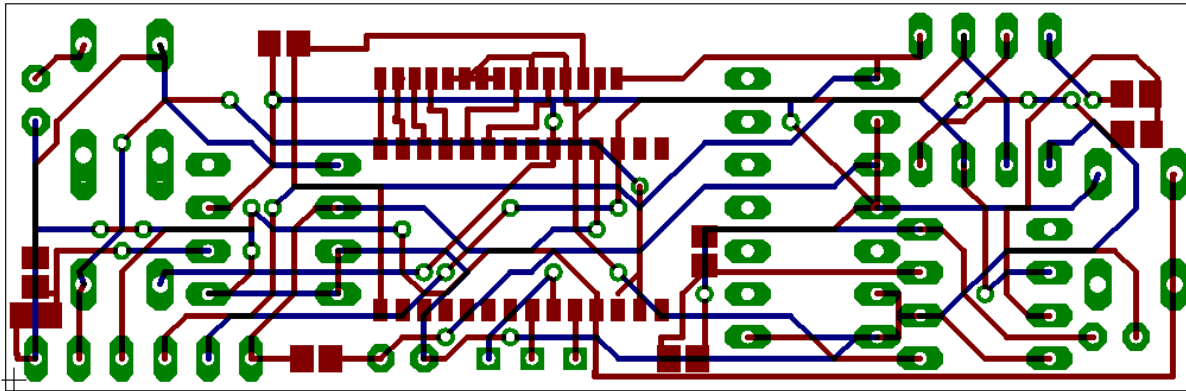


Figura 44. Aspecto final da placa de circuito impresso desenvolvida

5.4 Conclusões

Foi apresentado neste capítulo, numa primeira parte, a análise de tensões e deformações de alguns componentes da estrutura do dinamómetro, recorrendo ao Método de Elementos Finitos, utilizando o *software CosmosWorks*. Com base nestes cálculos comprovou-se que todos os componentes, previamente expostos, suportam as solicitações a que estão sujeitos, apresentando rigidez estrutural de forma a garantir um bom funcionamento a nível geral do dinamómetro. Numa segunda parte foi apresentado o sistema eléctrico do dinamómetro. Verificou-se que o espaço ocupado pelo esquema eléctrico é reduzido, deixando espaço disponível para o alojamento da bateria. As funções implementadas para a utilização do dinamómetro são bastante simples, assim o utilizador não necessita de uma longa familiarização com o funcionamento do aparelho.

Capítulo 6. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

Este trabalho teve como objectivo a concepção e desenvolvimento de um instrumento de medição da força de preensão da mão, tendo como principais características:

- Elevada fiabilidade;
- Tamanho reduzido, portátil e com funcionamento de tipo electrónico, alimentado a baterias;
- Manipulação confortável, compatível com os grupos etários e nutricionais particulares;
- Peso reduzido e robustez mecânica compatível com o formato e o ambiente de utilização;
- Capacidade de adaptação anatómica;
- Baixo custo de produção e necessidade de manutenção reduzida.

Para satisfizer estes objectivos foram realizadas pesquisas, usando como meio a *internet*, sobre todos os dinamómetros disponíveis no mercado, com vista a encontrar as suas principais características, pondo em relevo as suas fragilidades. Depois de conhecidos os dinamómetros existentes, procedeu-se à selecção do elemento sensor. Com base nos objectivos mencionados, modelaram-se e dimensionaram-se todos os componentes mecânicos do dinamómetro, recorrendo ao Método de Elementos Finitos, utilizando o *software CosmosWorks*. Toda esta metodologia foi muito importante ao nível do enriquecimento de conhecimentos. Através deste processo, foi possível desenvolver capacidades de forma a resolver problemas concretos, e acima de tudo, contactar com tecnologias muito inovadoras.

Algumas das conclusões foram sendo apresentadas ao longo dos capítulos, mas analisando em termos gerais pode-se concluir que o dinamómetro desenvolvido no presente trabalho, cumpre os objectivos que inicialmente foram propostos. Este dinamómetro apresenta elevada adaptação anatómica. A opinião de vários utilizadores, nomeadamente dos colegas da Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto, aponta para uma avaliação positiva, proporcionando uma empunhadura confortável apesar de não ter sido revestido.

O peso do dinamómetro desenvolvido no presente trabalho é menor que o dos dinamómetros descritos no capítulo 2. As dimensões do dinamómetro são relativamente reduzidas, ao ponto de este poder ser alojado no bolso de uma bata. Dado o número reduzido de peças, forma e tamanho, associado a condições de produção industrial e substituição de materiais e métodos de fabrico, impossíveis de utilizar num protótipo, o preço final por unidade deverá ser baixo. Para além destas características, o dinamómetro desenvolvido possui uma particularidade não identificada em nenhum dos dispositivos estudados. Este aparelho usufrui de duas escalas com diferentes sensibilidades; desta forma, a avaliação da força de preensão, especialmente em pessoa muito fragilizadas, torna-se possível. Devido ao atraso da entrega de alguns componentes, não foi possível montar por completo o dinamómetro, adiando assim o processo de calibração. Deste modo, será prematuro avaliar a fiabilidade do dispositivo.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho traz um novo enfoque no que diz respeito a instrumentos de medição da força de preensão. Trata-se de um dinamómetro inovador com boas características a todos os níveis. Contudo seguidamente, são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros de modo a que possam complementar e dar continuidade a este projecto:

- Calibrar o dinamómetro.
- Diminuição do ajustamento mínimo entre pegas, com o objectivo de tornar o dinamómetro mais adaptável a todos os tamanhos de mão dos pacientes;
- Comunicação com um computador por meio de *wireless* de forma a permitir a construção de uma base de dados automática dos pacientes avaliados;
- Adaptar o dinamómetro de modo a que seja possível realizar a avaliação da capacidade de força dos dedos dos pacientes (*pinching force*).

Capítulo 7. Referências Bibliográficas

- [Henrik06] Henrik Frederiksen, Md, Phd, Jacob Hjelmberg, Pdh, Jacob Mortensen, Phd, Matt McGue, Phd, James W. Vaupel, Phd, and Kaare Christensen, Md, Phd. *Age Trajectories of Grip Strength: Cross-Sectional and Longitudinal Data Among 8,342 Danes Aged 46 to 102*. 2006; Elsever Inc.
- [Esther05] Esther Luna-Heredia, Gonzalo Martín-Penã, Julián Ruiz-Galiana. *Handgrip dynamometry in healthy adults*. Clin. Nutri. 2005; p. 250-258.
- [Matos07] LC Matos, MM Tavares, and TF Amaral. *Handgrip strength as a hospital admission nutritional risk screening method* Clini. Nutri. 2007; p. 1128-1135.
- [Vaz96] BY M. Vaz, S. Thangam, A. Prabhu and P. S. Shetty. *Maximal voluntary contraction as a functional indicator of adult chronic undernutrition*. British Journal of Nutrition 1996; p. 9-15.
- [Angela05] Angela Yee-Moon Wang, Mandy Man-Mei Sea, Zoe So-Ying Ho, Siu-Fai Lui, Philip Kam-Tao Li and Jean Woo. *Evaluation of handgrip strength as a nutritional marker and prognostic indicator in peritoneal dialysis patients*. Am J Clin Nutr 2005; p. 79-86.
- [Mário05] Mário Reis Álvares-da-Silva, M.D., Ph.D.*, Themis Reverbel da Silveira, M.D., Ph.D. *Comparison between handgrip strength, subjective global assessment, and prognostic nutritional index in assessing malnutrition and predicting clinical outcome in cirrhotic outpatients*. 2005; p. 113-117.
- [Pieterse02] S Pieterse, M Manandhar and S Ismail: *The association between nutritional status and handgrip strength in older Rwandan refugees*. European Journal of Clinical Nutrition 2002; p. 933-939.
- [Jhon78] John Pearn. *Two Early Dynamometers*. Journal of the Neurological Sciences 1978; p. 127 - 134.
- [Hillman05] Hillman, T. E., Nunes, Q. M., Hornby, S. T., Stanga, Z., Neal, K. R., Rowlands, B. J., Allison, S. P., Lobo, D. N.: *A practical posture for hand grip dynamometry in the clinical setting*. Clinical Nutrition 2005; p. 224-228.
- [Nurgul02] Nurgul Arinci Incel, Esma Ceceli, Pinar Bakici Durukan, H Rana Erdem, Z Rezan Yorgancioglu. *Grip Strength: Effect of Hand Dominance*. Singapore Med J 2002; Vol p. 234-237.
- [Kamarul06] Kamarul T, Ahmad TS, Loh WY. *Hand grip strength in the adult Malaysian population*. J Orthop Surg Hong Kong 2006; p. 172-7.

Páginas da internet consultadas

www.microchip.com

www.sorisa.pt

www.wisdomking.com

www.catim.pt

www.source1medical.com

www.peworld.org

www.lode.nl

www.spaceflight.esa.int

www.fitnessmonitor.co.uk

www.nkb.com

www.maxim-ic.com

www.mikroe.com/pt/

pt.rs-online.com/web/

Anexos

Anexo A: Dinamómetros

A.1 Dinamómetro *Grasp*

O dinamómetro *GRASP* (figura 45) foi projectado para medir a força de preensão da mão, é um dispositivo, pequeno e de baixo peso. Este dispositivo permite a regulação entre pegas recorrendo a troca de uma das pegas de ajuste para adaptação a diferentes tamanhos de mão podendo ser facilmente alterados três tamanhos de manuseamento. Para se visualizar os resultados dos testes deve ser conectado a um computador com um software de aquisição de dados.

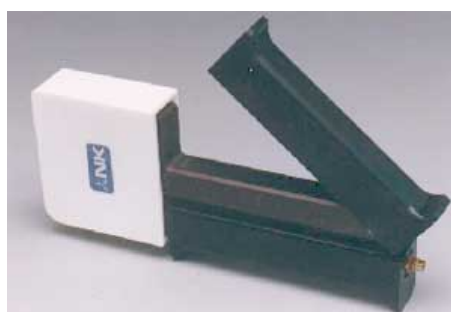


Figura 45. Dinamómetro *Grasp*

A tabela seguinte apresenta as principais características do dinamómetro *Grasp*.

Tabela 10.Características do dinamómetro *Grasp*

Gama de medição	0-70[kgf]
Resolução	40 [gf]
Não linearidade	<0.10% F.S.
Histerese	<0.10% F.S.
Peso	390[gf]
Altura	8,9 [cm]
Largura	2,4 [cm]
Comprimento	17,8 [cm]

A.2 Dinamómetro *Takei Handgrip* analógico

A figura 46 ilustra o dinamómetro *Takei Handgrip* em versão analógica.



Figura 46. Aspecto do dinamómetro *Takei Handgrip* analógico

A tabela seguinte apresenta as principais características do dinamómetro *Takei Handgrip* em versão analógica.

Tabela 11. Características principais do dinamómetro *Takei Handgrip* analógico

Gama de medição	0 – 100 [kgf]
Resolução	± 2 [kgf]
Display	Analógico

A.3 Dinamómetro *Takei Handgrip* digital.

A figura 47 apresenta o dinamómetro *Takei Handgrip* em versão digital.



Figura 47. Aspecto do dinamómetro *Takei Handgrip* digital

A tabela seguinte apresenta as principais características do dinamómetro *Takei Handgrip* em versão digital.

Tabela 12. Características principais do dinamómetro *Takei Handgrip* digital

Gama de medição	0 – 100 [kgf]
Resolução	± 2 [kgf]
<i>Display</i>	Digital
Potência de alimentação	Bateria (R03) x2
Autonomia	100 [h]

Anexo B: Análise de tensões e deformações

B.1 Análise das tensões da pastilha inferior

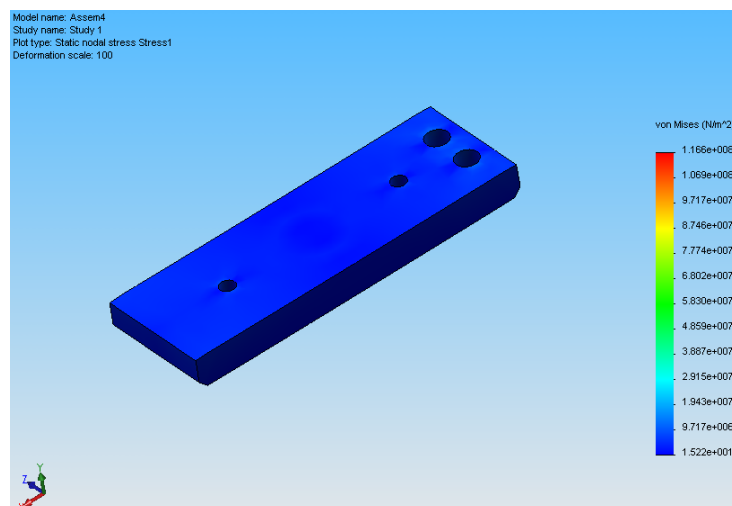


Figura 48. Análise das tensões da pastilha inferior com um factor de escala de 100

B.2 Análise das deformações da pastilha inferior

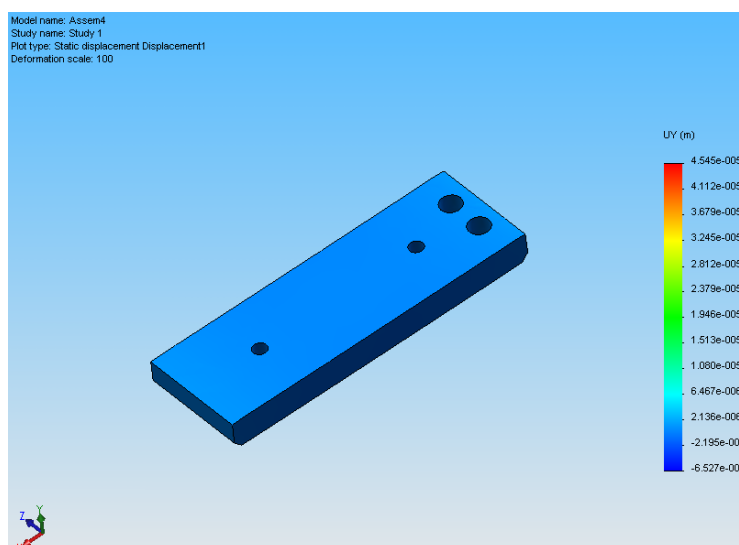


Figura 49. Análise das deformações da pastilha inferior relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala de 100

B.3 Análise das tensões da cavilha de guiamento

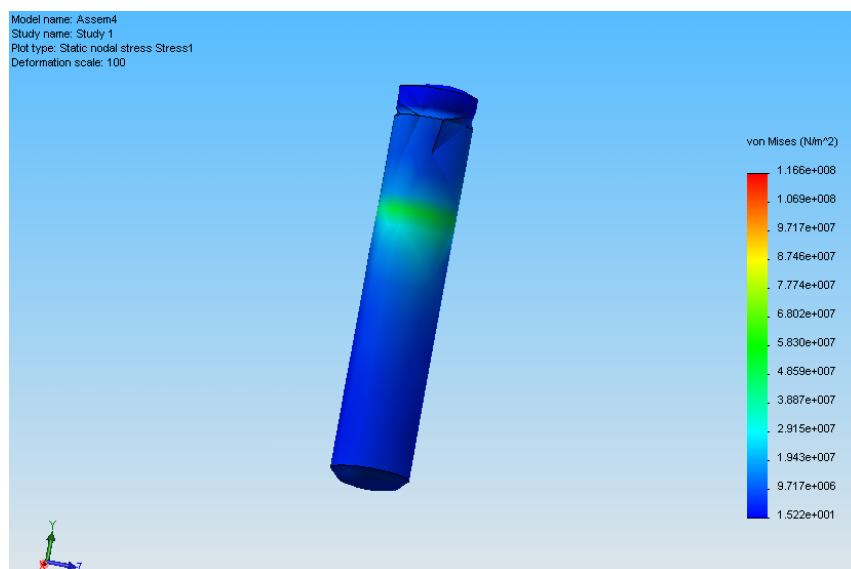


Figura 50. Análise das tensões da cavilha de guiamento com um factor de escala de 100

B.4 Análise das deformações da cavilha de guiamento

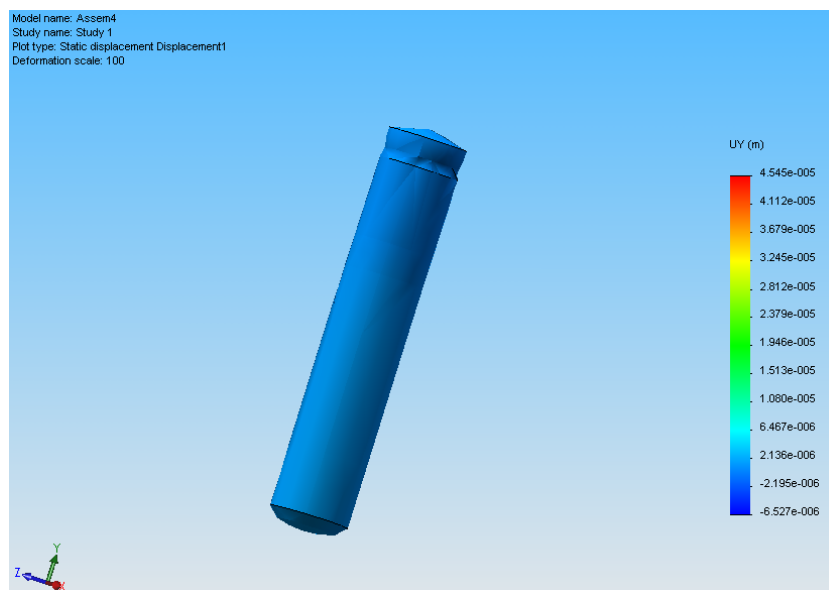


Figura 51. Análise das deformações da cavilha de guiamento relativamente ao eixo dos yy com um factor de escala 100

B.5 Análise das tensões da pega inferior

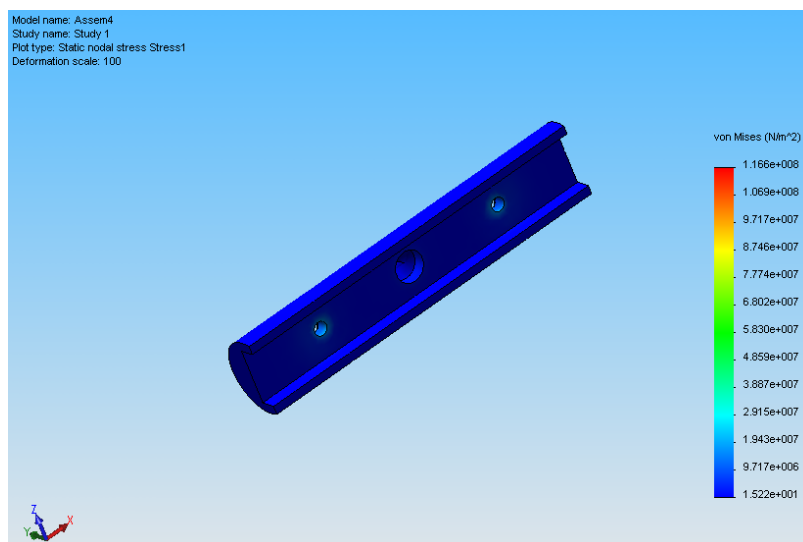


Figura 52. Análise das tensões da pega inferior com um factor de escala de 100

B.6 Análise das deformações da pega inferior

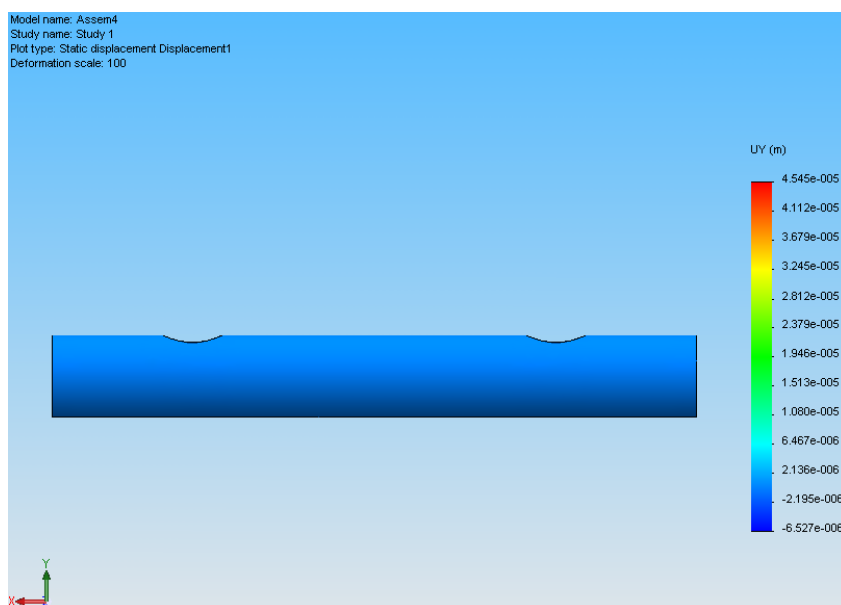


Figura 53. Análise das deformações da pega inferior relativamente ao eixo dos yy com factor de escala de 100

Anexo C: Programa desenvolvido

```

1: //-----//
2:
3:          // Autor: Leandro Monteiro @ FEUP 2007/2008//
4:
5:
6: //-----//
7:          //Definição das rotinas//
8: //-----//
9: void config();
10: void teste ();
11: void estatistica ();
12: void manual();
13: void valor();
14: //-----//
15:          //Definição das variáveis globais//
16: //-----//
17: unsigned long adc_2,adc_1,valorfinal,max1,max2,max3,max_f,media,tlong,ajust,ch;
18: char txt[18];
19: int short deteccaomanual,deteccaautomatico,deteccaomaxmed,
20: deteccaoteste1,deteccaoteste2,deteccaoteste3,deteccaomaximo,deteccaomedia,
21: m,x,h,v,k,l,deteccaoescala;
22: int contador_0,contador_1;
23: //-----//
24:          //Programa principal//
25: //-----//
26: void main ()
27: {
28:
29:     config();
30: //*****//
31:     while (1)      // A//
32:     {
33:         k=portc.f0;
34:         while (k==0 && l==1)
35:         {
36:             l=0;
37:             contador_0++;
38:             k=0;          // Detecção de transição ascendente//
39:         }
40:         while (k==1 && l==0)
41:         {
42:             l=1;
43:         }
44: //*****//
45:         if(contador_0 == 1 && deteccaomanual==1)
46:         {
47:             LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
48:             LCD_Out(1,1,"Manual");
49:             PORTB.f1 =1;
50:             deteccaomanual=0;
51:             deteccaautomatico=1;
52:             deteccaomaxmed=0 ; // Selecção do modo Manual//
53:         }
54:         if(portc.f2 == 1 && contador_0 == 1)
55:         {
56:             manual();
57:             deteccaautomatico=1;
58:             deteccaomaxmed=0;
59:         }
60: //*****//
61:         if (contador_0 == 2 && deteccaautomatico == 1)

```

```

62:                                     {
63:                                     LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
64:                                     deteccaautomatico=0;
65:                                     deteccaomaxmed=0;
66:                                     LCD_out(1,1,"Automatico");
67:                                     } // Selecção do modo Automático//
68:                                     if (portc.f2==1 && contador_0==2)
69:                                     {
70:                                     deteccaomaxmed=0;
71:                                     teste();
72:                                     }
73: //*****//
74:                                     if(contador_0 == 3 )
75:                                     {
76:                                     deteccaomaxmed=1;
77:                                     LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
78:                                     contador_0=0;
79:                                     LCD_Out(1,1,"Estatistica");
80:                                     deteccaomanual=1;
81:                                     } // Selecção do modo Estatística//
82:                                     if(portc.f2 == 1 && deteccaomaxmed == 1)
83:                                     {
84:                                     deteccaomaxmed=0;
85:
86:                                     estatistica();
87:                                     }
88: //*****//
89:                                     if (portc.f7 == 0)
90:                                     {
91:                                     lcd_out(2,3,"Bateria Baixa");
92:                                     } // Detecção de bateria baixa//
93:                                     } //Fim do ciclo while (A)//
94:                                     } //Fim da rotina main //
95: //-----//
96:                                     // Rotina de configuração//
97: //-----//
98: void config()
99: {
100:                                     LCD_Config(&PORTB,2,3,0,7,6,5,4);
101:                                     LCD_Init(&PORTB); //Configuração do LCD//
102:                                     LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
103:                                     LCD_Cmd(LCD_CURSOR_OFF);
104: //*****//
105:                                     ADCON1 = 0x8A; //Configuração das portas do ADC//
106: //*****//
107:                                     TRISA = 255;
108:                                     TRISC = 191;
109:                                     TRISB = 0; //Configuração das portas Output/Input//
110:                                     PORTA = 0;
111:                                     PORTB = 0;
112:                                     PORTC = 0;
113: //*****//
114:                                     contador_0=0;
115:                                     deteccaomanual=1;
116:                                     l=0;
117:                                     k=0;
118:                                     deteccaautomatico=1; // Inicializar variáveis//
119:                                     valorfinal=0;
120:                                     deteccaoescala=0;
121:                                     max1=0;
122:                                     max2=0;

```

```

123:         max3=0;
124:         max_f=0;
125: //*****//
126:         LCD_Out(1,1,"Hello");
127:         Delay_ms (1000);
128:         LCD_Cmd(LCD_CLEAR);           //Mensagem de introdução//
129:         LCD_Out(1,1,"Menu");
130:         LCD_Out(2,14,"-->");
131: } //Fim da rotina config (1)//
132: //-----//
133:         //Rotina teste //
134: //-----//
135: void teste()
136: {
137:         LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
138:         max3=0;
139:         max2=0;
140:         max1=0;
141:         max_f=0;
142:         h=0;           //Inicializar variáveis//
143:         contador_1=0;
144:         deteccaotestel=1;
145: //*****//
146:         LCD_out(1,1,"Fazer Teste");   //Mensagem de introdução//
147:         delay_ms(500);
148: //*****//
149:         while (1) //B//
150:         {
151:                 m=portc.f2;
152:                 while (m == 0 && h == 1)
153:                 {
154:                         h=0;           // Detecção de transição ascendente//
155:                         contador_1++;
156:                 }
157:                 while (m == 1 && h == 0)
158:                 {
159:                         h=1;
160:                 }
161:         }
162: //*****//
163: adc_2 = ADC_read(2); //Configuração da entrada Analógica (sensor)//
164:         if (adc_2 < 500 && deteccaoescala==0)
165:         {
166:                 PORTC.f6 =0;
167:                 adc_1 = adc_2;
168:         }
169:         if (adc_2>500 && deteccaoescala==0)
170:         {
171:                 deteccaoescala=1;           // Seleção das escalas//
172:         }
173:         if (adc_2<900 && deteccaoescala==1)
174:         {
175:                 PORTC.f6 =1;
176:                 adc_1=adc_2;
177:         }
178:         }
179: //*****//
180:         tlong = adc_1 * 100000;
181:         asm {
182:                 MOVF STACK_2,W
183:

```

```

184:          MOVWF _tlong+2    // Preparação do valor lido no canal 2 do ADC//
185:          MOVF STACK_3,W
186:          MOVWF _tlong+3
187:      }
188:      adc_1 = tlong >> 10;
189:  //*****
190:      if (contador_1 == 1)
191:      {
192:          deteccaoteste2=1;
193:          if(deteccaoteste1==1)
194:          {
195:              deteccaotestel=0;  // Iniciar o teste 1 //
196:              LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
197:              LCD_Out(1,1,"Teste 1");
198:          }
199:          if (adc_1>max1)
200:          {
201:              max1=adc_1;  //leitura do valor máximo do teste 1//
202:              valorfinal=max1;
203:              valor ();
204:          }
205:      }
206:  //*****
207:      if (contador_1 == 2)
208:      {
209:          deteccaoteste3=1;    // Iniciar o teste 2 //
210:          if(deteccaoteste2==1)
211:          {
212:              LCD_Out(1,1,"Teste 2");
213:              deteccaoteste2=0;
214:          }
215:          if (adc_1>max2)  //leitura do valor máximo do teste 2//
216:          {
217:              max2=adc_1;
218:              valorfinal=max2;
219:              valor ();
220:          }
221:      }
222:  //*****
223:      if (contador_1 >= 3)
224:      {
225:          deteccaotestel=1;
226:          if(deteccaoteste3==1)
227:          {
228:              LCD_Out(1,1,"Teste 3");// Iniciar o teste 3//
229:              deteccaoteste3=0;
230:          }
231:          if ( adc_1> max3)
232:          {
233:              max3=adc_1; //leitura do valor máximo do teste 3//
234:              valorfinal=max3;
235:              valor ();
236:          }
237:      }
238:  //*****
239:      if (portc.f0==1 && contador_1 >= 3)
240:      {
241:          //Retoma à rotina main//
242:          return;
243:      }
244:  //*****
245:      if (portc.f7 == 0)

```

```

245:         {
246:             lcd_out(2,3,"Bateria Baixa");
247:         } // Detecção de bateria baixa//
248:     } //Fim do ciclo while (B)//
249: } //Fim da rotina teste//
250: //-----//
251: void estatistica ()
252: {
253: //*****//
254:     LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
255:     LCD_out(1,1,"Max/Med"); //Mensagem de introdução//
256:     deteccaomedia=1;
257:     delay_ms(500);
258: //*****//
259:     while (1) //C//
260:     {
261:         m=portc.f2;
262:         while (m == 0 && h == 1)
263:         {
264:             contador_0++;
265:             h=0; // Detecção de transição ascendente//
266:         }
267:         while (m==1 && h==0)
268:         {
269:             h=1;
270:         }
271: //*****//
272:         if (contador_0 == 1 )
273:         {
274:             deteccaomaximo=1;
275:             if(deteccaomedia==1)
276:             {
277:                 LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
278:                 LCD_Out(1,1,"Maximo");
279:                 deteccaomedia=0;
280:             }
281:             if(max1>max_f)
282:             {
283:                 max_f=max1;
284:             }
285:             if(max2>max_f)//Cálculo do valor máximo de todos os testes//
286:             {
287:                 max_f=max2;
288:             }
289:             if(max3>max_f)
290:             {
291:                 max_f=max3;
292:             }
293:             valorfinal=max_f;
294:             valor ();
295:         }
296: //*****//
297:         if (contador_0 >=2 )
298:         {
299:             deteccaomedia=1;
300:             if(deteccaomaximo==1)
301:             {
302:                 deteccaomaximo=0;
303:                 LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
304:                 LCD_Out(1,1,"Media");
305:             }

```

```

306:         contador_0=0;
307:         media=((max1+max2+max3)/3); // Cálculo do valor médio//
308:         valorfinal=media;
309:         valor ();
310:     }
311: //*****//
312:     if(portc.f0==1)
313:     {
314:         return; //Retoma à rotina main//
315:     }
316: //*****//
317:     if (portc.f7 == 0) // Detecção de bateria baixa//
318:     {
319:         lcd_out(2,3,"Bateria Baixa");
320:     }
321: } //Fim do ciclo while (C)//
322: } //Fim da rotina estatística//
323: //-----//
324: //Rotina Manual//
325: //-----//
326: void manual()
327: {
328:     ajust=0; //Inicializar variáveis//
329:     deteccaoescala=0;
330:     while (1) //D//
331:     {
332: //*****//
333:         adc_2 = ADC_read(2); //Configuração da entrada Analógica (sensor)//
334: //*****//
335:         if (adc_2 < 500 && deteccaoescala==0)
336:         {
337:             PORTC.f6 =0;
338:             adc_1 = adc_2;
339:         }
340:
341:         if (adc_2>500 && deteccaoescala==0)
342:         {
343:             deteccaoescala=1; // Selecção das escalas//
344:         }
345:         if (adc_2<900 && deteccaoescala==1)
346:         {
347:             PORTC.f6 =1;
348:             adc_1=adc_2;
349:         }
350:
351: //*****//
352:         tlong = adc_1 * 100000;
353:
354:         asm {
355:             MOVF STACK_2,W // Preparação do valor lido no canal 2 do ADC//
356:             MOVWF _tlong+2
357:             MOVF STACK_3,W
358:             MOVWF _tlong+3
359:         }
360:         adc_1 = tlong >> 10;
361: //*****//
362:         if ( adc_1>valorfinal)
363:         {
364:             lcd_out(1,1,"MAX:");
365:             valorfinal=adc_1; //Selecção do máximo do modo manual//
366:             valor ();

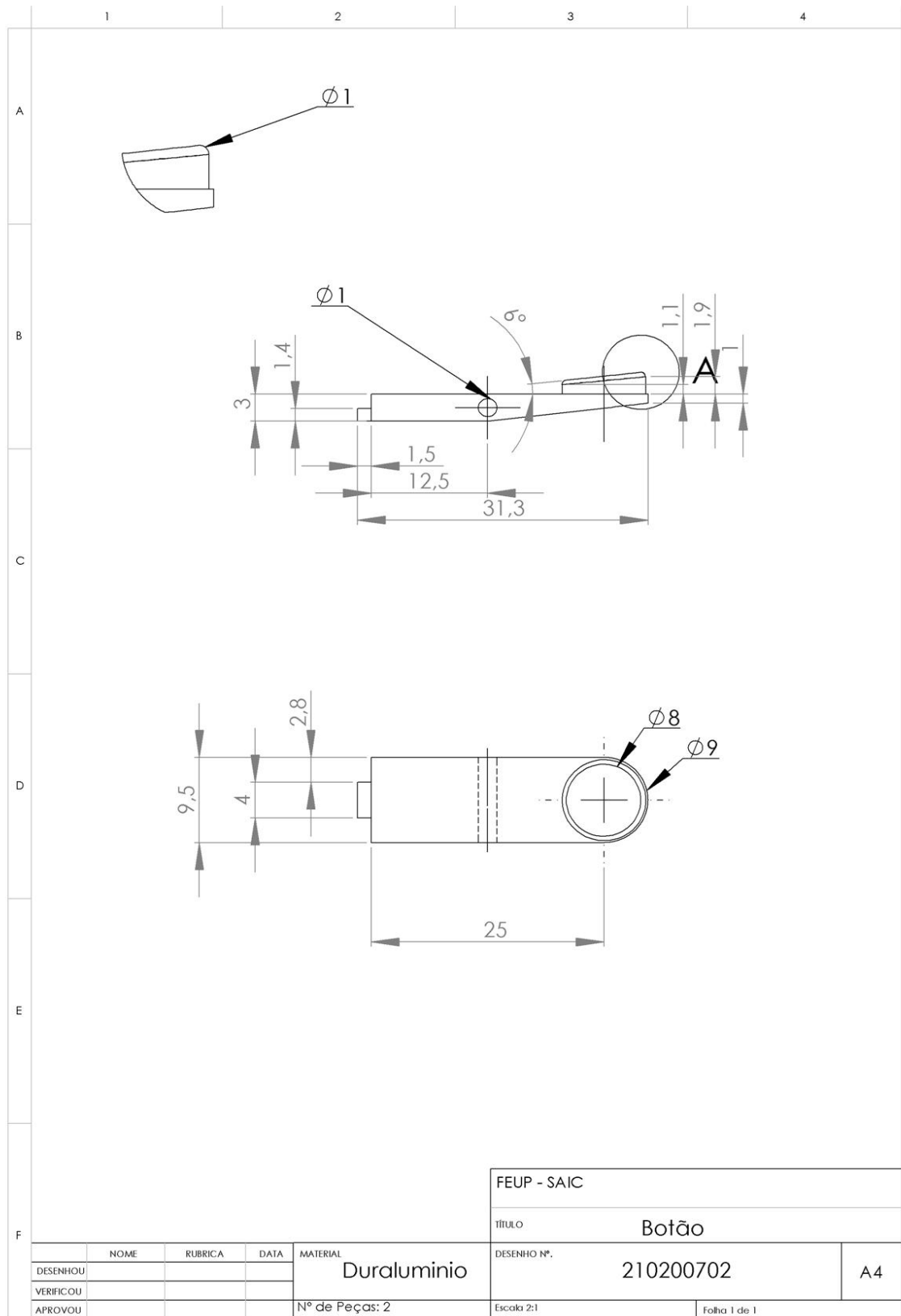
```

```

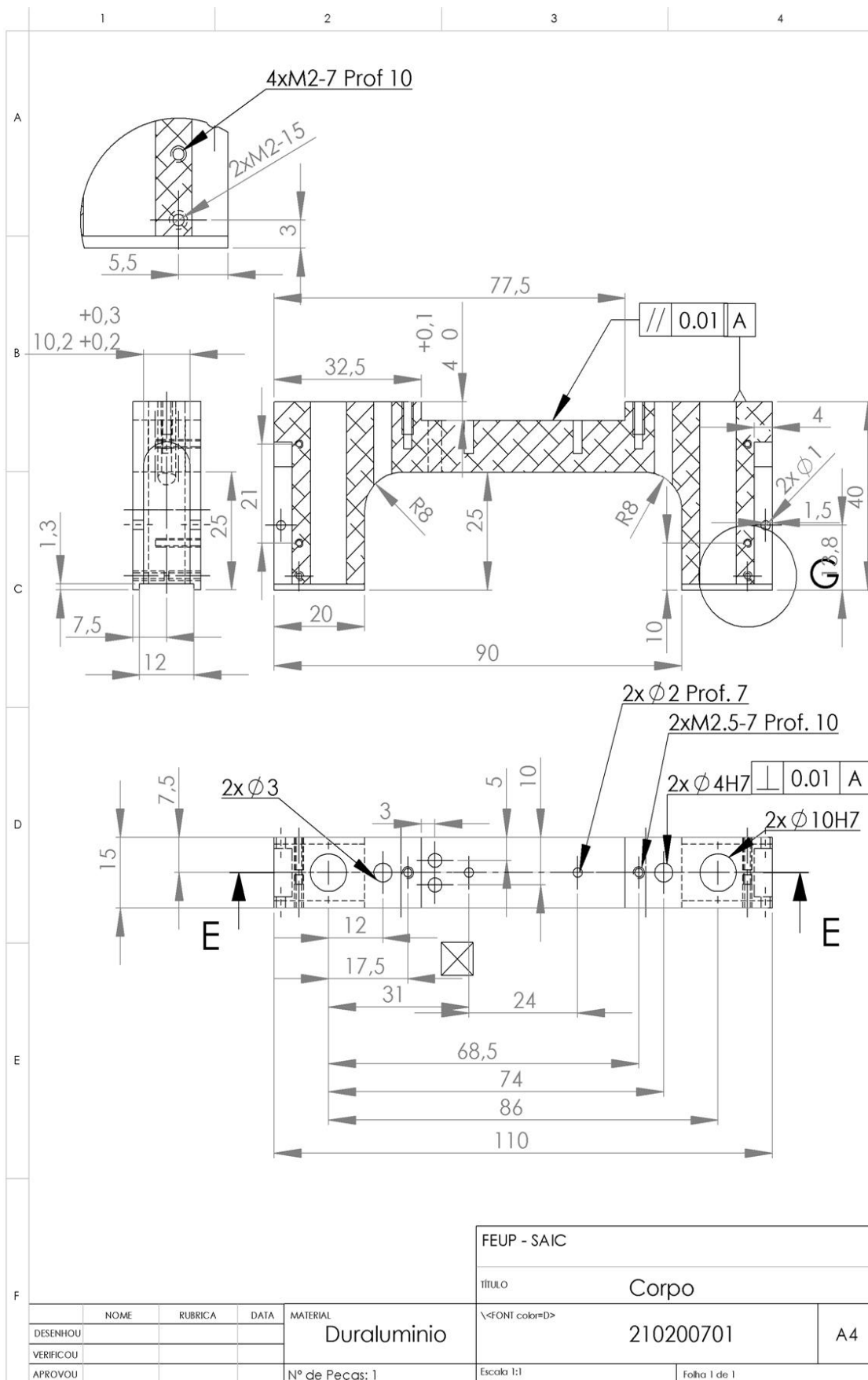
367:         }
368: //*****
369:         if(portc.f0==1)
370:         {
371:             return;
372:         }
373: //*****
374:         if (portc.f2==1 )
375:         {
376:             valorfinal=0;
377:             deteccaoescala=0;
378:             LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
379:         }
380: //*****
381:         if (portc.f7 == 0)
382:         {
383:             LCD_Out(2,3,"Bateria Baixa");
384:         }
385:     } //Fim do ciclo while (D)
386: } //Fim da rotina manual //
387: //*****
388: // Função valor//
389: //*****
390: void valor ()
391: {
392:     ch = valorfinal / 10000;
393:     LCD_Chrc(2,1,48+ch);
394:     ch = (valorfinal / 1000) % 10;
395:     LCD_Chrc(2,2,48+ch);
396:     LCD_Chrc_CP('.');
397:     ch = (valorfinal/ 100) % 10;
398:     LCD_Chrc_CP(48+ch);
399:     LCD_Chrc_CP('k');
400:     LCD_Chrc_CP('g');
401:     LCD_Chrc_CP('f');
402: }
403:

```

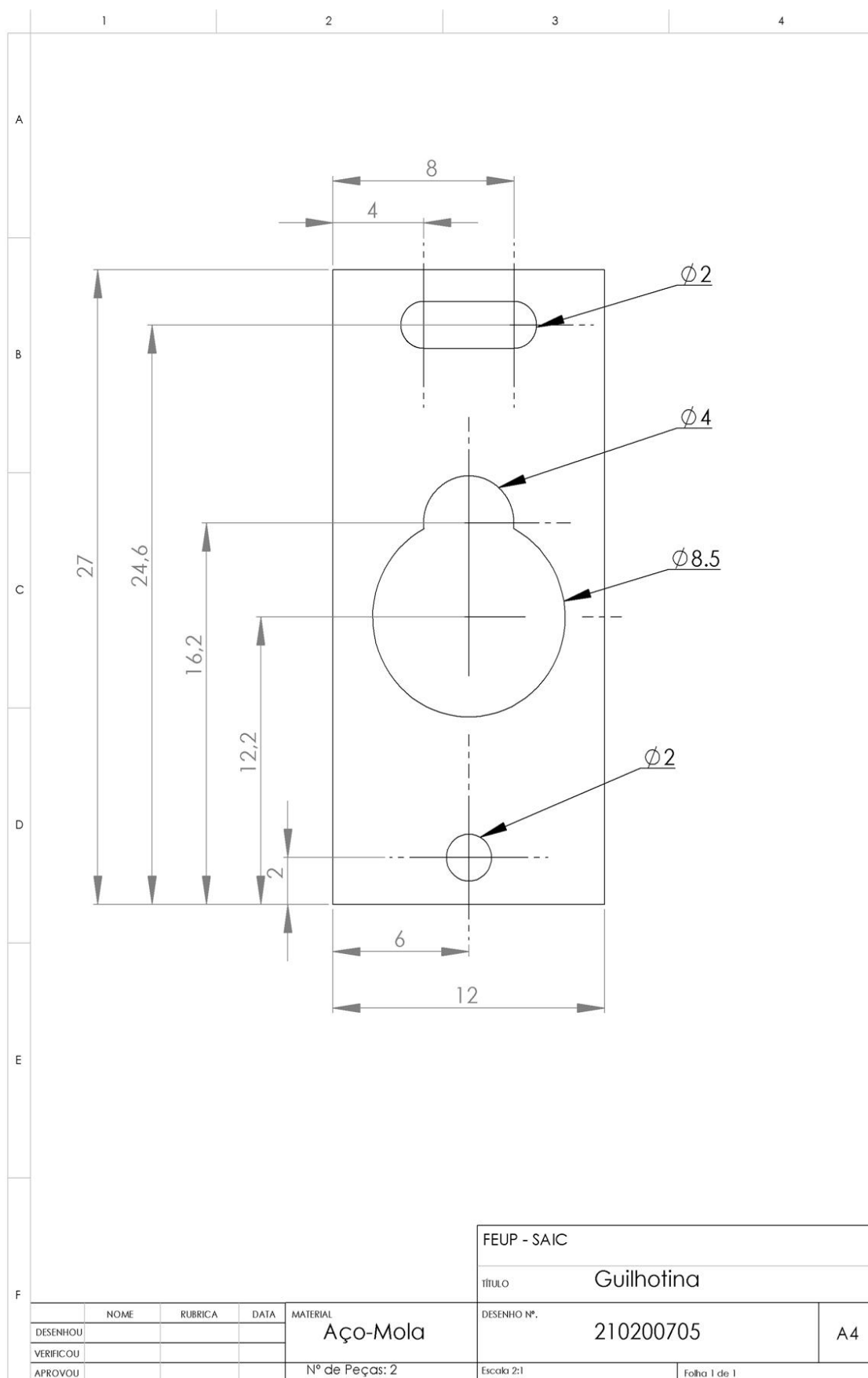
Anexo D: Componentes mecânicos



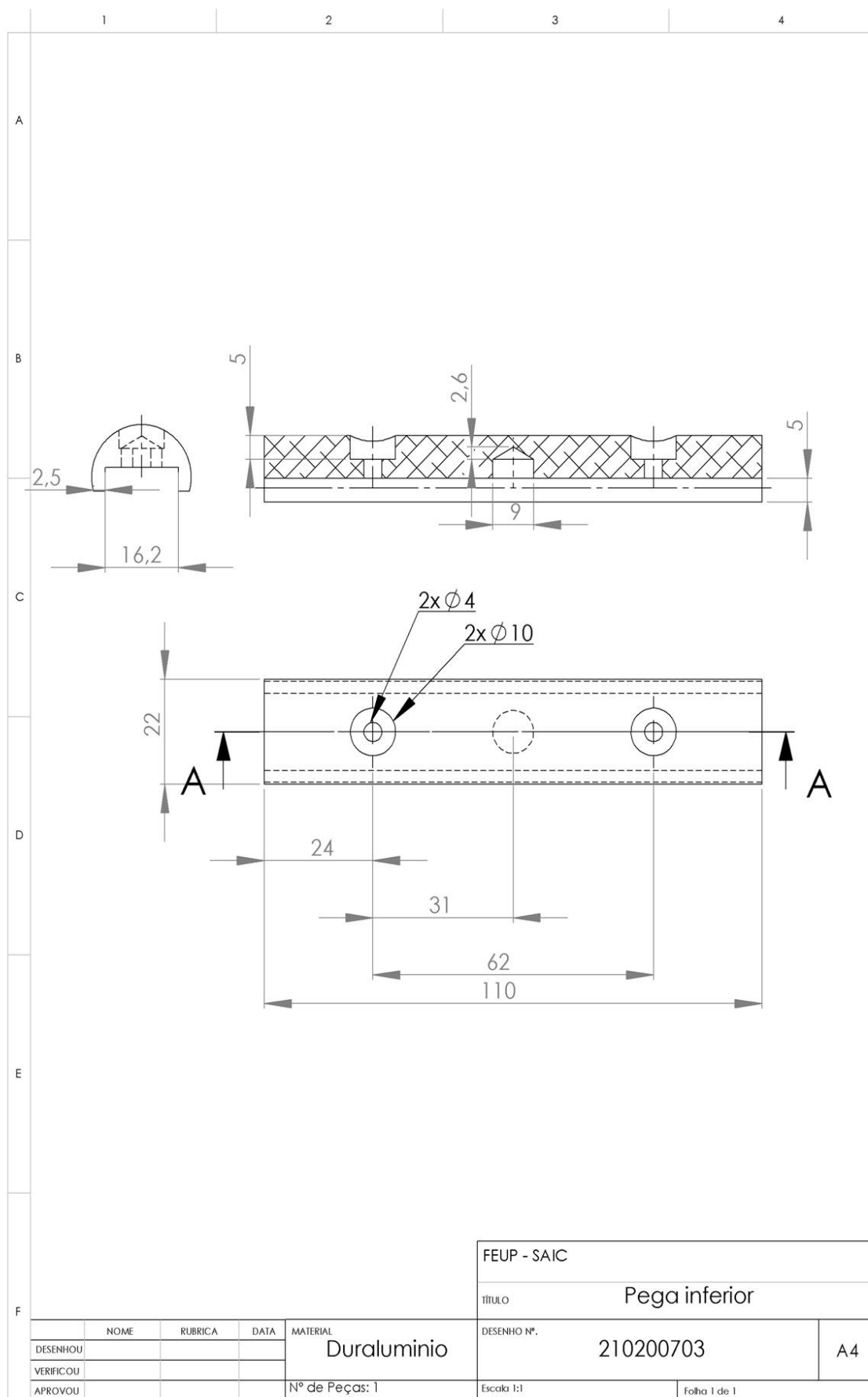
Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



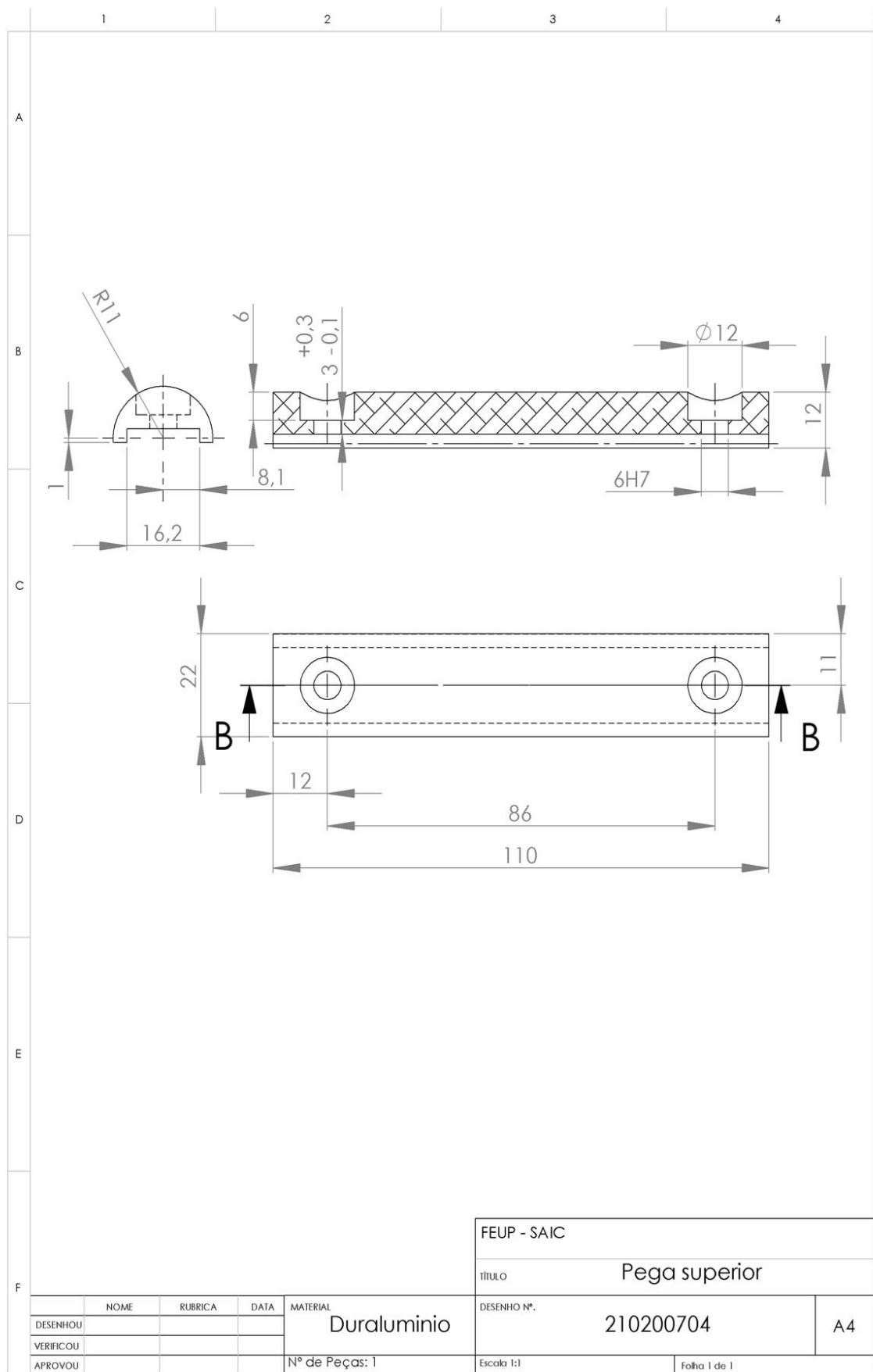
Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



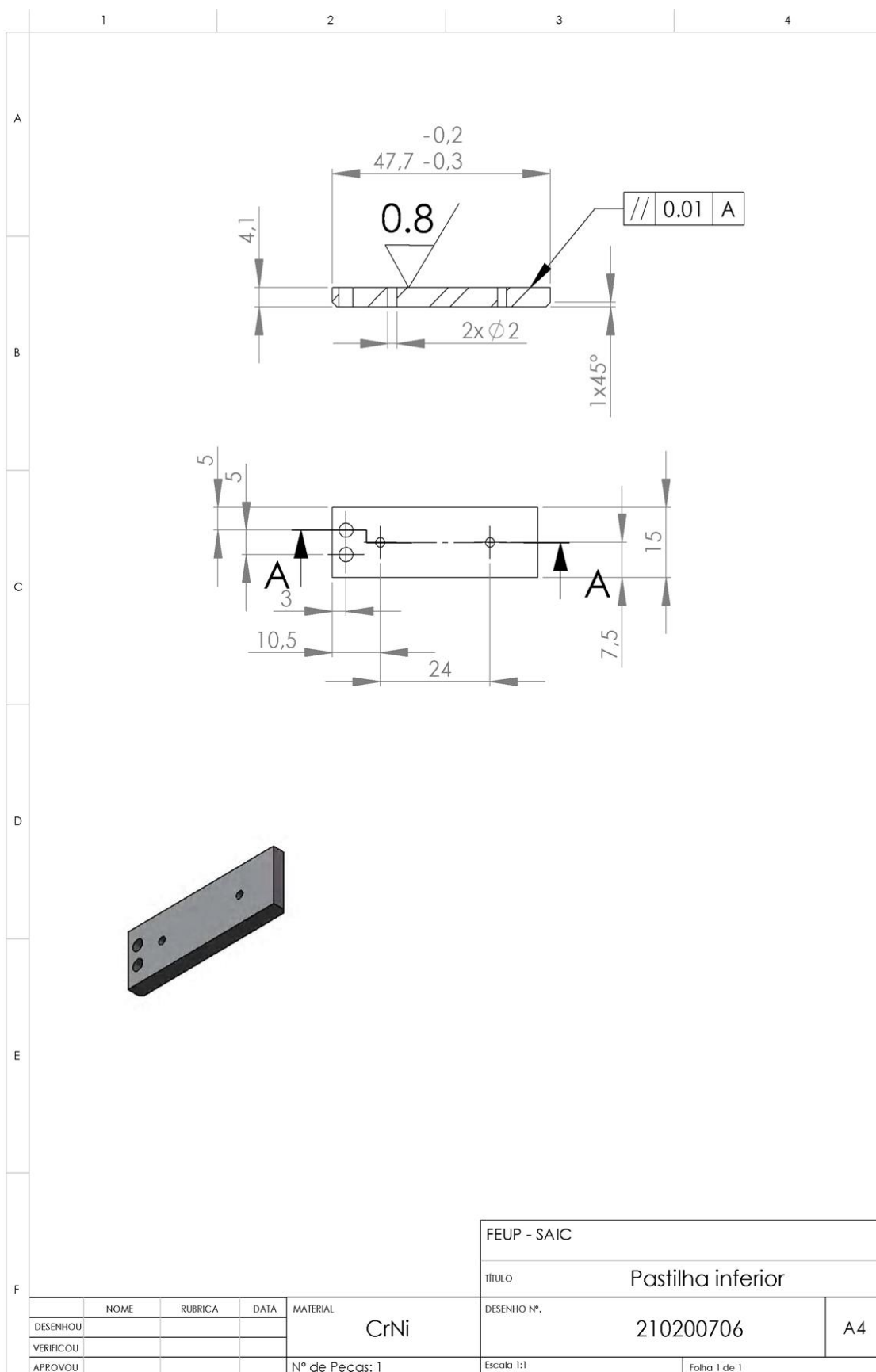
Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



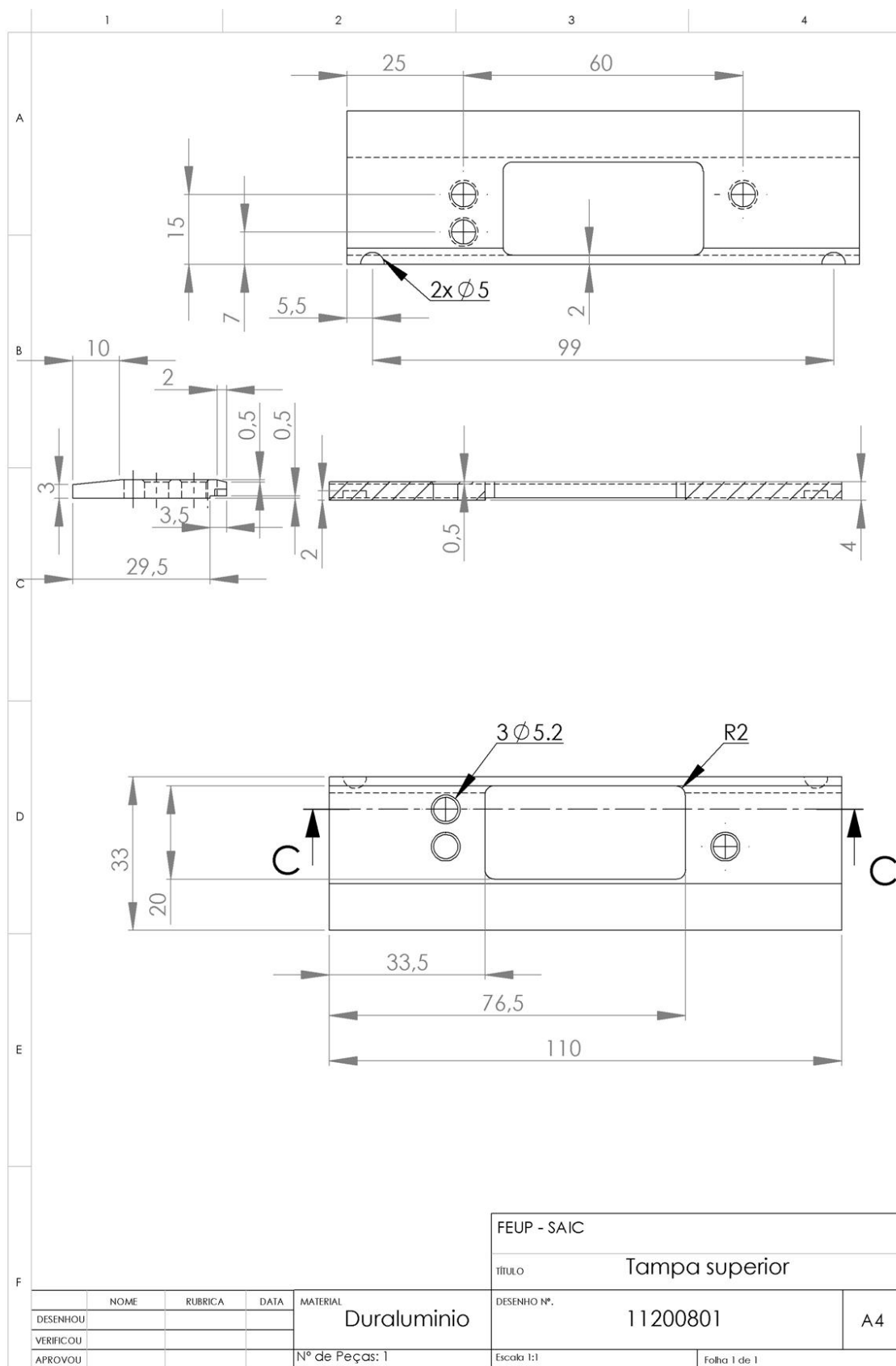
Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



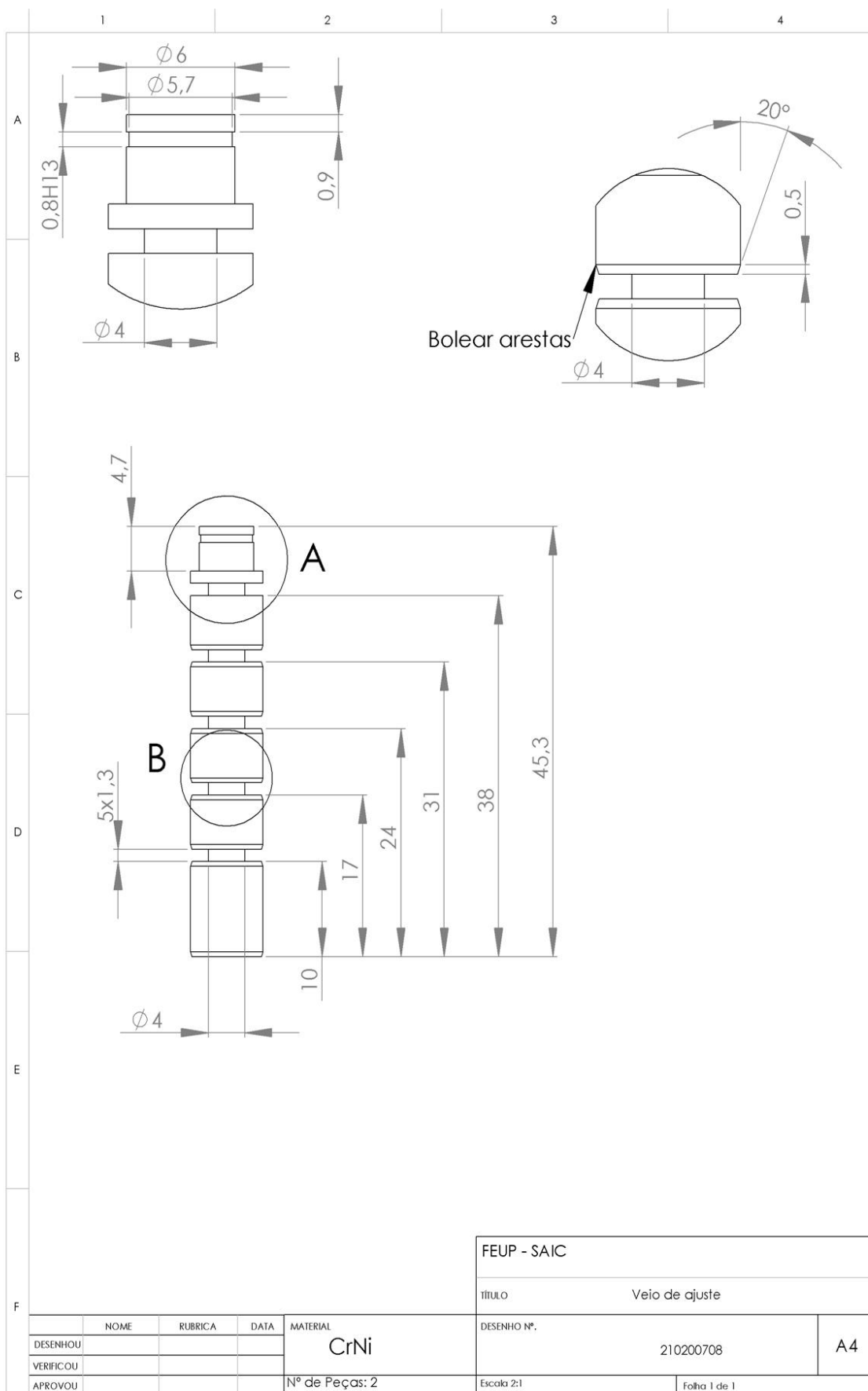
Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



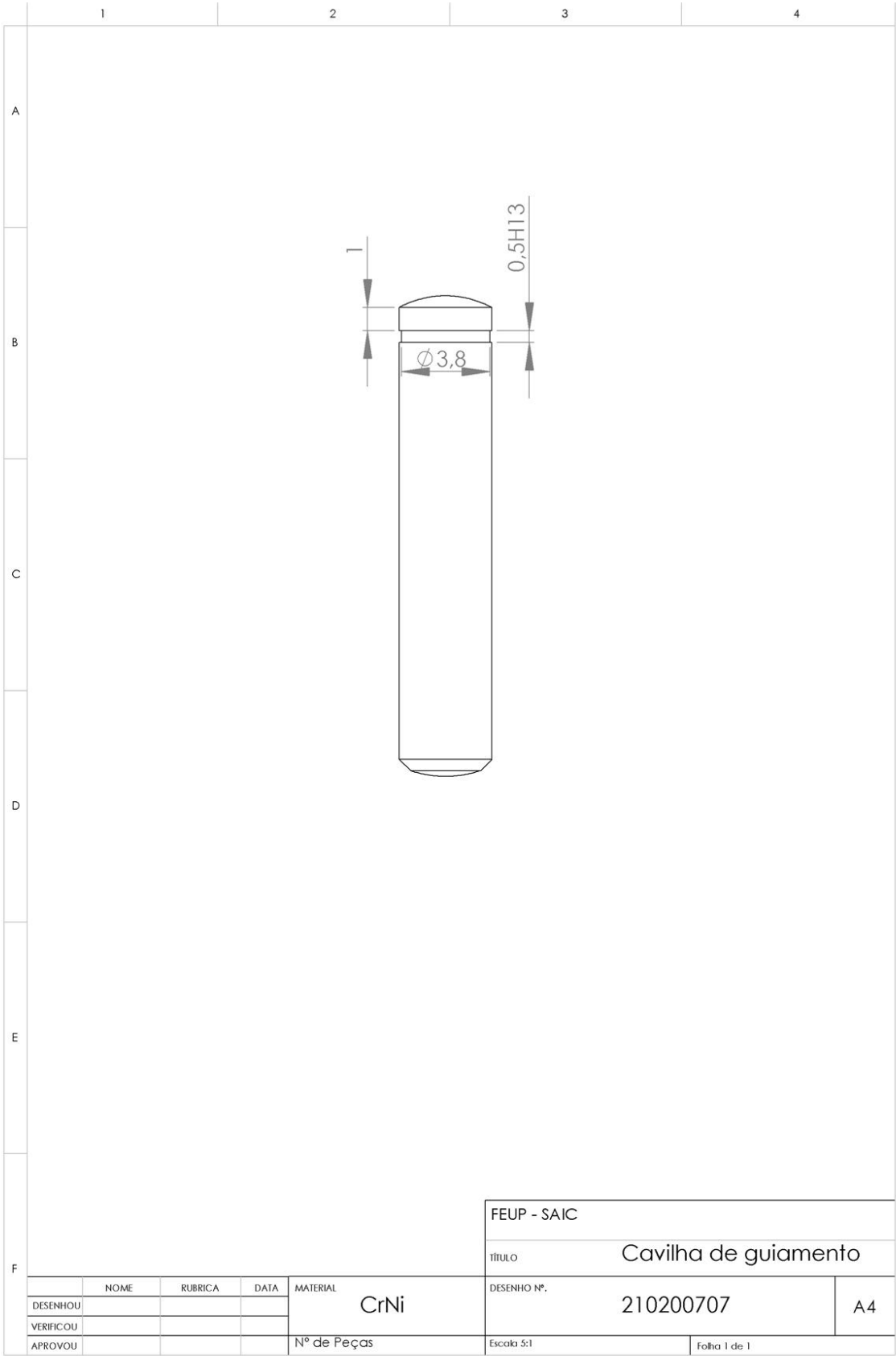
Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



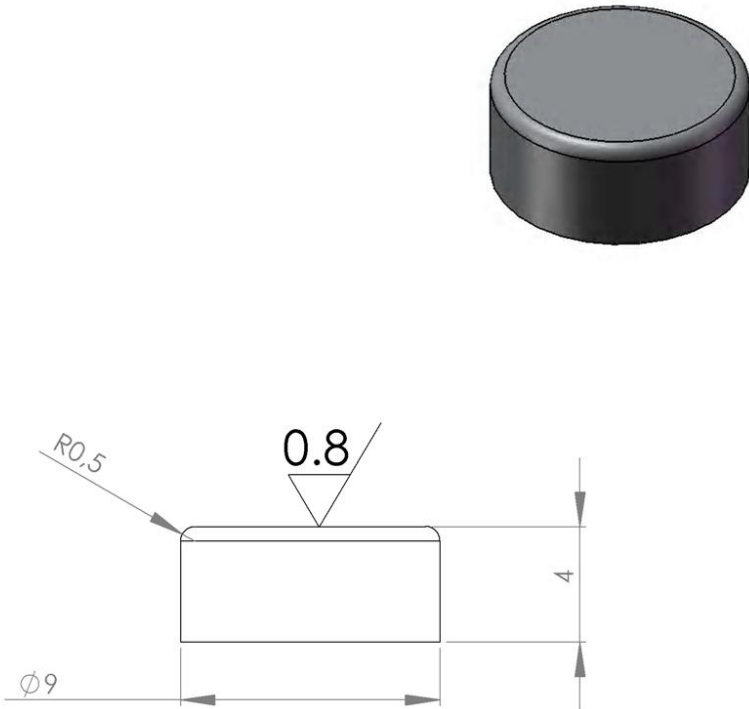
Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora



Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora

	1	2	3	4																																				
A																																								
B																																								
C																																								
D																																								
E																																								
F	<table border="1"> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2">FEUP - SAIC</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2">TÍTULO Pastilha superior</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>DESENHO Nº.</td> <td>0210200767</td> </tr> <tr> <td>DESENHOU</td> <td>NOME</td> <td>RUBRICA</td> <td>DATA</td> <td>MATERIAL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIFICOU</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>CrNi</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROVOU</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Nº de Peças:1</td> <td> Escala 5:1 Folha 1 de 1 </td> </tr> </table>								FEUP - SAIC						TÍTULO Pastilha superior						DESENHO Nº.	0210200767	DESENHOU	NOME	RUBRICA	DATA	MATERIAL		VERIFICOU				CrNi		APROVOU				Nº de Peças:1	Escala 5:1 Folha 1 de 1
				FEUP - SAIC																																				
				TÍTULO Pastilha superior																																				
				DESENHO Nº.	0210200767																																			
DESENHOU	NOME	RUBRICA	DATA	MATERIAL																																				
VERIFICOU				CrNi																																				
APROVOU				Nº de Peças:1	Escala 5:1 Folha 1 de 1																																			