

Projecto de um Dinamómetro para Avaliação da Força Prensora da Mão

Tiago Manuel Simões Ramos

Relatório do Projecto Final

Orientadores:

Prof. Manuel Rodrigues Quintas

Inv. Carlos Manuel Sousa Moreira da Silva



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho 2009

Resumo

Este trabalho visa o desenvolvimento de um dispositivo para a avaliação da capacidade preensora da mão. Sendo esta um bom indicador do estado nutricional de uma pessoa, este tipo de aparelho tem a qualidade de, através de um teste simples, rápido, e não invasivo, aferir sobre esse mesmo estado nutricional.

Tendo em conta que este projecto vem dar continuidade a um outro já realizado, este tem por objectivo desenvolver um segundo protótipo que mantenha as principais características que o distinguem e o tornam inovador, mas que dê solução aos problemas que se evidenciaram com o seu uso por parte dos profissionais do meio hospitalar. Sendo assim, com este projecto, é pretendido obter-se um dispositivo com características mais próximas de um produto final.

O aparelho baseia-se no uso de um sensor piezoresistivo, que traduz a força preensora num sinal analógico. Posteriormente esse sinal é lido por um microcontrolador, que o disponibiliza ao utilizador através de um LCD.

O aperfeiçoamento do anterior protótipo pode ser dividido em três pontos principais: a estrutura, a electrónica e a programação. Com a reestruturação mecânica, procurou-se diminuir a distância entre pegos para um valor padronizado, bem como, implementar um novo sistema de transmissão de força nas pegos até ao sensor. No que diz respeito à electrónica e programação, pretendeu-se sobretudo, melhorar a eficiência energética do antigo protótipo.

Development of a dynamometer to measure the hand grip strength

Abstract

The main goal of this project consists on the development of a device, used on the measurement of the hand's gripping force. Being this a good predictor of a person's nutritional state, this device has the quality of, through a simple, quick and noninvasive test, evaluate the referred nutritional status.

As this project is the continuity of another one, done at a previous time, this one has the objective of developing a second prototype that will keep the main features that distinguished it and made it innovative, but that contributes with new solutions to the problems that were revealed by its use in a professional environment. So, with this project, it is intended to achieve an apparatus with closer characteristics to a final product.

The device is based on the use of a piezoresistive sensor, which converts the grip strength into an analog signal. Later on, this signal is read by a microcontroller, which is responsible for the communication with the user by means of an LCD module.

The improvements introduced by this prototype may be arranged into three main lines of action: the structure, the electronics and the programming. The mechanical restructuring, aimed at the reduction of the distance between handles to values used in common practice and the implementation of a new system of force transmission between the handles and the sensor. Concerning the electronics and the code implementation, it was intended primarily to improve the efficiency of the former prototype.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professor Manuel Rodrigues Quintas e Investigador Carlos Moreira da Silva, que contribuíram grandemente para o sucesso deste trabalho.

Ao meu, mais recente primo, Tiago Faustino Andrade pelo desenrasque em alguns momentos de maior dificuldade.

Aos meus colegas que me acompanharam e ajudaram ao longo deste projecto, ao Camacho, ao Tiago, ao Viana, ao Hélder, ao Rocha e ao Leiria... Aquele abraço.

E claro, à minha família, que sempre me apoiou e a quem dedico este trabalho.

Índice de conteúdos

1 . Introdução Geral e Objectivos	1
1.1 Introdução	1
1.2 Dispositivos médicos.....	3
1.3 Objectivos do projecto	4
1.4 Estrutura do relatório	5
2 . Estado da Arte.....	7
2.1 Introdução	7
2.2 Dinamómetros mecânicos.....	7
2.3 Dinamómetros hidráulicos e pneumáticos.....	8
2.4 Dinamómetros electrónicos	10
2.5 Protótipo actual do “Hand Grip”	11
2.6 Conclusão.....	12
3 Princípio de Funcionamento	15
3.1 Introdução	15
3.2 Elemento Sensor	15
3.3 Princípio do Funcionamento Mecânico	17
3.3.1 Solução utilizada no anterior protótipo	17
3.3.2 Solução implementada.....	18
3.4 Conclusão.....	21
4 Projecto Mecânico.....	23
4.1 Introdução	23
4.2 Evolução do projecto	23
4.2.1 Primeira evolução	25
4.2.2 Segunda evolução	26
4.2.3 Terceira evolução.....	29
4.3 Solução final.....	30

4.4	Dimensionamento de componentes	37
4.4.1	Corpo	37
4.4.2	Alavancas	40
4.4.3	Pegas.....	43
4.4.4	Conjunto.....	47
4.5	Conclusão.....	48
5	<i>Projecto Electrónico e Programação</i>	49
5.1	Introdução	49
5.2	Circuito electrónico implementado no anterior protótipo	49
5.2.1	Críticas e objectivos	51
5.3	Implementação do novo circuito	52
5.3.1	Novas tecnologias aplicadas à electrónica	52
5.3.2	Implementação de novos componentes.....	53
5.3.3	Circuito final	59
5.4	Programação.....	61
5.4.1	Sistema de desenvolvimento.....	61
5.4.2	Código desenvolvido.....	62
5.4.3	Conclusão.....	64
6	<i>Conclusão Geral e Sugestões para Trabalhos Futuros</i>	67
6.1	Conclusões	67
6.2	Sugestões para trabalhos futuros	68
7	<i>Referências Bibliográficas</i>	69
Anexo A:	<i>Análise de Tensões e Deformações</i>	75
Anexo B:	<i>Programa do microcontrolador em C.....</i>	81
Anexo C:	<i>Desenhos de Definição</i>	93

Índice de figuras

Figura 1.1- Esboço de um dinamómetro.....	1
Figura 1.2 – Exemplos de dinamómetros.	2
Figura 1.3 – Protótipo anterior do “HandGrip”	3
Figura 2.1 – Instrumento de excitação da força da mão.	7
Figura 2.2- Dinamómetro Smedley.	8
Figura 2.3- Dinamómetro Jamar.	9
Tabela 2.1 – Medida Jamar.....	9
Figura 2.5 – Jamar electrónico.....	10
Figura 2.6 – Dinamómetro DynEx.....	10
Figura 2.7- Protótipo actual do “HandGrip”	11
Tabela 2.2 – Comparativa dos Dinamómetros apresentados.	12
Figura 3.1 – Sensor piezoresistivo <i>FlexiForce</i>	15
Figura 3.2 – Circuito de condicionamento de sinal aconselhado pelo fabricante.....	16
Figura 3.3 - Curvas de evolução da resistência/conductividade, função da força (catálogo Flexiforce). ...	16
Tabela 3.1- Características do sensor piezoresistivo <i>FlexiForce</i>	17
Figura 3.5 – Vista explodida do protótipo anterior.	17
Figura 3.6 - Sistema de transmissão da força de prensão da mão.....	18
Figura 3.7- Balança de plataforma.	19
Figura 3.8 – Diagrama de forças da balança.....	20
Figura 3.9 – Esboço de uma primeira abordagem à solução construtiva.	20
Figura 4.1 – Dimensões do “HandGrip”	23
Figura 4.2 – Componentes electrónicos – LCD, Bateria, USB, Sensor, Placa de circuito.....	24
Figura 4.3 – Primeira solução para o mecanismo de transmissão de carga.....	25
Figura 4.4 - Segunda solução para o mecanismo de transmissão de força.....	26
Figura 4.5 – Pormenor de transmissão da força entre alavancas.	27
Figura 4.6 – Cassete de apoio ao elemento sensor.	27
Figura 4.7 - Solução estrutural – segunda evolução.	27
Figura 4.8 – Solução de conjunto – segunda evolução.	28
Figura 4.9 – Vista de trás do conjunto – segunda evolução.	28

Projecto de um Dinamómetro para Avaliação da Força Prensora

Figura 4.10 – Dispositivo “TalkingPowerGrip”	29
Figura 4.11 – Design alternativo com LCD exterior ao corpo.....	30
Figura 4.12 – Solução final do dispositivo	30
Figura 4.13 – Dimensões do LCD SD1602E.....	31
Figura 4.14 – Vista frontal seccionada.....	31
Figura 4.15 – Sistema de transmissão de força aplicado à solução final.	32
Figura 4.16 – Vista explodida do novo protótipo.	33
Figura 4.17 – Sistema de extensão da pega inferior.....	35
Figura 4.18 – Pormenor do sistema de extensão.....	35
Tabela 4.1 - Valores da distância entre pegas para o dispositivo projectado.	36
Figura 4.20 - Pormenor do batente da pega superior.....	36
Figura 4.21 – Corpo do dispositivo.....	38
Figura 4.22 – Distribuição das tensões no corpo.	38
Figura 4.23 – Distribuição das deformações no (factor de escala de 50)	39
Figura 4.24 – Conjunto das alavancas e elemento sensor.....	40
Figura 4.25 – Distribuição das tensões na Alavanca Superior.....	41
Figura 4.26 – Distribuição dos deslocamentos na alavanca superior (factor de escala de 25).....	42
Figura 4.27 – Distribuição das tensões na alavanca inferior.....	42
Figura 4.28 – Distribuição dos deslocamentos na alavanca inferior (factor de escala de 25).....	43
Figura 4.29 – Distribuição de tensões no conjunto pega superior.....	44
Figura 4.30 – Distribuição de deslocamentos segundo xx na pega fixa (factor de escala igual a 50)	45
Figura 4.31 – Distribuição das tensões no conjunto pega extensível.	45
Figura 4.32 Distribuição das tensões na coluna extensível.....	46
Figura 4.33 Distribuição dos deslocamentos na pega extensível (factor de escala igual a 100).	46
Figura 4.34 – Distribuição das tensões no conjunto.....	47
Figura 5.1 – Circuito eléctrico implementado no protótipo anterior	50
Figura 5.2 - Varta Poliflex; Ultra Fire TR10440, dimensões em mm	53
Figura 5.3 – Esquema de ligações e placa de circuito do carregador.	54
Figura 5.4 - Característica do sensor piezoresistivo <i>Flexiforce</i>	55
Figura 5.5 - Característica do sistema (sensor + condicionamento de sinal)	55
Figura 5.6 – Circuito de condicionamento de sinal.....	56

Projecto de um Dinamómetro para Avaliação da Força Prensora

Figura 5.7 - Característica do sistema (montagem não inversora).....	56
Figura 5.8 – LCD - SD1602E	57
Figura 5.9 – <i>Pin out</i> do microcontrolador PIC18F2550 (encapsulamento SOIC).....	59
Figura 5.10 – Circuito montado na <i>breadboard</i>	59
Figura 5.11 – Esquema de ligações do novo circuito	60
Figura 5.12 – Modelo e placa de circuito impresso.....	61
Figura 5.13 – Disposição das placas de circuito no dispositivo.	61
Figura 5.14 – Placa de Desenvolvimento EasyPIC4.	62
Figura 5.15 – Grafcet de funcionamento.	63
Figura 5.16 – Substituição do botão 2	64
Figura 7.1 - Distribuição de tensões na cassette inferior.	76
Figura 7.2- Distribuição dos deslocamentos na alavanca inferior (factor de escala de 100).....	76
Figura 7.3 – Distribuição de tensões na cassette superior.....	77
Figura 7.4 – Distribuição dos deslocamentos na cassette superior (factor de escala de 100).....	77
Figura 7.5 – Distribuição de tensões no cutelo.	78
Figura 7.6 - Distribuição dos deslocamentos no cutelo (factor de escala de 100).....	78
Figura 7.7 – Distribuição de tensões na cassette inferior.....	79
Figura 7.8 – Distribuição dos deslocamentos na alavanca inferior (factor de escala de 50).	79

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Medida Jamar	9
Tabela 2.2 – Comparativa dos Dinamómetros apresentados.	12
Tabela 3.1- Características do sensor piezoresistivo <i>FlexiForce</i>	17
Tabela 4.1 - Valores da distância entre pegas para o dispositivo projectado.	36

1 . Introdução Geral e Objectivos

1.1 Introdução

Vivemos numa época em que o tempo é cada vez mais preponderante, e em que o actual contexto económico e social se caracteriza por um elevado ritmo de mudança tecnológica, globalização da competitividade (facilitada pelas novas tecnologias da informação e comunicação) e encurtamento do ciclo de vida dos produtos. É neste contexto que surge a motivação para este projecto, tendo em vista desenvolver um protótipo que compatibilize as necessidades de se obter um produto inovador, de baixo custo e que cumpra perfeitamente os propósitos para o qual se destina. Aliando um sistema mecânico simples a uma electrónica eficiente.

Mais concretamente, o projecto envolve o desenvolvimento de um dispositivo para a avaliação da força prensora da mão. Tal como o próprio nome sugere, esta força é a capacidade de apertar um determinado objecto, usando para tal o polegar e os restantes dedos em oposição à palma da mão, como se pode observar na próxima figura 1.1.

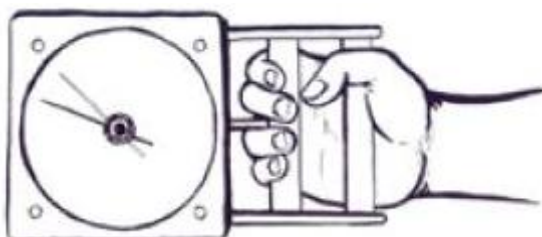


Figura 1.1- Esboço de um dinamómetro.

O valor da força é lido num mostrador analógico ou num LCD, caso o dispositivo seja electrónico (figura 1.2). Na bibliografia da área do Nutricionismo, em que se insere este trabalho, a grandeza normalmente utilizada para mensurar a força de preensão é o quilograma força, que é a força equivalente à massa de um quilograma sujeita à acção da gravidade, sendo então $1 \text{ kgf} \approx 9,8 \text{ N}$.



Figura 1.2 – Exemplos de dinamómetros.

O conhecimento do valor da força preensora é de extrema importância uma vez que através de um procedimento simples, rápido e não invasivo se pode ter uma noção do estado nutricional de uma pessoa [1]. O estado nutricional normal reflecte o equilíbrio entre a ingestão balanceada de alimentos e o consumo de energia necessário para manter as funções diárias do organismo. Sempre que algum factor interfere em qualquer etapa desse equilíbrio, os riscos de desnutrição tornam-se iminentes. Por isso, o estado nutricional é um dos principais factores a considerar nos pacientes hospitalizados, em virtude do alto risco de complicações, tais como: infecções, flebite, embolia pulmonar, insuficiência respiratória, má cicatrização de feridas e fístulas, entre outras, que, associadas a um estado nutricional deficiente, podem aumentar o tempo de permanência no hospital e o risco de morte [2,3].

Por exemplo, em 2001 realizou-se um estudo em que se avaliou a força de preensão recorrendo ao dinamómetro Jamar em 1.128 homens e 80 mulheres saudáveis. Uma das conclusões foi que a força de preensão é directamente proporcional à idade até os 32 anos, e que a partir daí, se torna inversamente proporcional a essa mesma idade, facto que pode ser interessante na avaliação do decréscimo de agilidade e força nos idosos [6].

Por outro lado a medição da força preensora pode também ser usada como técnica auxiliar em fisioterapia, desporto de alta competição e toda uma série de estudos em que seja importante o conhecimento do valor da capacidade preensora, dado que a mão é um elemento vital no nosso quotidiano [4,5].

Após esta breve introdução sobre o dinamómetro e qual o seu uso, iremos justificar a razão deste trabalho.

Este projecto surge na sequência de um trabalho realizado em 2008, denominado “Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora” [10]. Neste, foi feita uma primeira abordagem ao tema, projectando um protótipo, que mais tarde veio a culminar com a construção do dispositivo que se apresenta na figura 1.3.



Figura 1.3 – Protótipo anterior do “HandGrip”.

Na medida em que o projecto foi bem sucedido, e que se conseguiu construir um dispositivo viável com características únicas a nível de *design* e portabilidade, achou-se que seria interessante dar seguimento à referida investigação e limar as arestas, os pontos fracos que se vieram a evidenciar com o decorrer do projecto e seu posterior uso, bem como acrescentar novas funcionalidades ao dispositivo.

1.2 Dispositivos médicos

Dado que se pretende nesta segunda fase, criar um dispositivo mais próximo do produto final, houve que ter em conta toda uma série de condições que permitam ao instrumento criado inserir-se na qualidade de dispositivo médico.

Um dispositivo médico é qualquer instrumento, aparelho, equipamento ou material utilizado por profissionais de saúde, com o objectivo de diagnosticar, prevenir e tratar enfermidades, não recorrendo a meios farmacológicos, imunológicos e metabólicos [7].

Estes podem ser classificados segundo três classes (I, II, III). Os de classe I são de mais baixo risco, os de classe II de risco moderado, e os de classe III de risco máximo. A sua classificação é feita tendo em conta três factores fundamentais:

- Duração do contacto com o corpo humano;
- Grau de invasão no corpo humano;
- Parte do corpo afectada pela utilização.

Introdução Geral e Objectivos

Das três classes acima referidas, o nosso instrumento classifica-se como sendo de classe I, dado que:

- É não invasivo;
- O seu uso é de curta duração (inferior a uma hora), sendo um instrumento passivo e em que o diagnóstico por ele produzido, não é preponderante para uma eventual situação de risco de vida;
- É um dispositivo electromecânico sem qualquer interacção biológica ou química com os líquidos e feridas corporais, tendo somente contacto com a pele.

As implicações desta classe, uma vez que é a de mais baixo risco, são mínimas. Portanto, no que diz respeito a aposição da marcação CE é da inteira responsabilidade do fabricante, que fica obrigado a:

- Elaborar uma declaração de conformidade;
- Notificar a Autoridade Competente do seu endereço e descrição dos produtos que fabrica;
- Sujeitar-se, para efeitos de protecção da Saúde, à fiscalização da Autoridade Competente.

A referida Autoridade Competente em Portugal é o INFARMED, e todas estas classificações e imposições estão de acordo com o Decreto de Lei nº 145/2009 e a Directiva Europeia nº 2007/47/CE [8].

As restrições existentes que a prática impõe a este tipo de aparelhos, como por exemplo, materiais a utilizar e tipo de energia a que recorre (eléctrica, pneumática, etc.) será discutido num ponto posterior.

1.3 Objectivos do projecto

Este trabalho tem por objectivo o desenvolvimento de um protótipo para aferir a força preensora da mão, incluindo este, um sistema de aquisição electrónica de força, bem como a disponibilização dos dados de medição através de um *display* digital. Tendo em conta que este trabalho vem na sequência de um outro já realizado, os propósitos deste projecto baseiam-se, em parte, no resultado desse mesmo trabalho.

Os pressupostos para a execução do projecto são os seguintes:

- Manter o *design* compacto e apelativo;
- Diminuir a distância entre pegas para uma medida “standardizada”;
- Implementar um novo sistema mecânico de transmissão de força até ao sensor;
- Baixo custo de produção e necessidade de manutenção reduzida;
- Detectar um nível baixo de bateria;
- Desactivação automática do aparelho;
- Implementar um carregador de bateria;
- Melhorar a eficiência energética;
- Suportar uma força máxima de 100 kgf, com uma resolução mínima de 0,1 kgf;

1.4 Estrutura do relatório

Após uma introdução e definição dos objectivos, o presente trabalho encontra-se repartido em mais seis capítulos.

No capítulo dois, denominado Estado da Arte, é feito um levantamento dos aparelhos que existem no mercado, para medir a força prensora da mão. Estes são classificados segundo o seu princípio de funcionamento, e na parte final são apresentadas vantagens/desvantagens de cada um deles.

No terceiro capítulo, é abordado o princípio de funcionamento utilizado, estando este repartido em duas partes distintas: o elemento sensor e o princípio de funcionamento mecânico.

O projecto mecânico é o tema do quarto capítulo. Começa-se por apresentar o processo evolutivo que levou até à solução final do dispositivo projectado. Posteriormente, são apresentadas as simulações realizadas no COSMOSWorks, que permitiram refinar e validar os diferentes componentes no que diz respeito às tensões e deformações admissíveis.

Seguidamente, no quinto capítulo, aborda-se a componente electrónica do projecto. Numa primeira instância, faz-se uma análise crítica ao circuito implementado no anterior protótipo. Depois, numa segunda instância, com a delineação dos objectivos é apresentado o novo circuito. Este capítulo incide também sobre a programação do microcontrolador, pelo

Introdução Geral e Objectivos

que se apresenta o Grafcet de funcionamento e se abordam algumas das novas funções a implementar.

No sexto capítulo apresenta-se a conclusão, é feita uma crítica ao trabalho desenvolvido e são propostos trabalhos futuros que possam melhorar o desempenho do projecto desenvolvido.

Por fim, no sétimo capítulo, expõe-se a bibliografia consultada, à qual se seguem os anexos. Nestes é possível consultar, os desenhos de definição das peças projectadas, alguns estudos complementares das simulações realizadas no COSMOSWorks e por último, o código desenvolvido em mikroC.

2 . Estado da Arte

2.1 Introdução

Inúmeros instrumentos estão disponíveis para aferir os valores de dinamometria manual. Estes podem ser classificados segundo três categorias: hidráulicos e pneumáticos, mecânicos e electrónicos. Neste capítulo vamos dar a conhecer as diferentes classes e respectivas soluções construtivas existentes no mercado, bem como, apresentar o protótipo desenvolvido no projecto anteriormente realizado e que serve de base para este trabalho.

2.2 Dinamómetros mecânicos

Os dinamómetros mecânicos são os mais simples instrumentos que existem para medir a força preensora, e os que menor precisão/fiabilidade possuem. Medem a força de preensão em função da tensão produzida numa mola de aço. Na figura 2.1 podemos ver um exemplo destes dispositivos, não de medição mas de manutenção, que utiliza o princípio de funcionamento da mola em oposição à força preensora da mão.



Figura 2.1 – Instrumento de excitação da força da mão.

O dispositivo de medição baseia-se num princípio idêntico, em que através do movimento relativo entre as duas pegas do mecanismo, se produz a extensão de uma mola, sendo essa extensão transmitida a uma agulha que se desloca sobre uma escala graduada (lbf ou kgf). Recorrendo a um segundo ponteiro, conduzido pelo primeiro, é também possível registar a força máxima. A figura 2.2 apresenta um exemplo de um desses dinamómetros.



Figura 2.2- Dinamómetro Smedley.

Este dispositivo permite também a regulação da distância entre pegas, para que melhor se adaptem aos diferentes tamanhos de mão. Esta particularidade é conseguida através da rotação da pega móvel interligada ao “mecanismo móvel” por meio de um veio roscado. Assim, através da rotação deste é possível obter o deslocamento linear necessário no sentido de ajustar a distância entre pegas. O dinamómetro Smedley mede até uma força de 100 kgf com uma resolução de 2 kgf (5 lbf).

2.3 Dinamómetros hidráulicos e pneumáticos

Estes dispositivos caracterizam-se por serem sistemas selados em que, através da compressão de determinado tipo de fluido, é medida a pressão resultante, sendo esta medida em kgf ou lbf.

Exemplo deste tipo de dispositivo é o dinamómetro Jamar apresentado na figura 2.3. Foi desenvolvido por Bechtol[1], em 1954 e caracteriza-se como sendo um aparelho de fácil utilização tanto em estudos de campo quanto em situações clínicas ambulatoriais, fornecendo uma leitura rápida e directa do valor da força de prensão. O modelo hidráulico do dinamómetro Jamar é o recomendado pela Sociedade Americana de Terapeutas da Mão (American Society of Hand Therapists – ASHT – associação acreditada no meio), sendo considerado o mais apurado e fiável instrumento para avaliar a dinamometria manual.



Figura 2.3- Dinamómetro Jamar.

Para além das características já descritas, este possui a capacidade de ajustar a distância entre pegas de maneira a melhor se acomodar à mão do utilizador. Uma particularidade interessante desta característica é o de ter sido tomada como medida “standard”, a medida Jamar. Este facto deve-se à falta de normas e directivas, tanto a nível europeu como mundial que regulamentem o método de aferição da força prensora da mão, pelo que não existe até hoje um protocolo que seja tomado como referência pelas entidades do meio. Sendo este um dispositivo amplamente utilizado, tomou-se então como referência a “medida Jamar”, que pode tomar cinco posições (cinco valores), desde 35 mm até 86 mm, com incrementos de 12,7 mm (1/2 polegada), apresentando-se os valores na tabela 2.1 [6].

Tabela 2.1 – Medida Jamar

Jamar	Polegadas	Milímetros
1	1 3/8"	35
2	1 7/8"	48
3	2 3/8"	60
4	2 7/8"	73
5	3 3/8"	86

O dispositivo mede até uma força máxima de 90 kgf com uma resolução de 2 kgf.

De referir que, face à inovação no meio e ao enorme peso no mercado que este dispositivo tem, foi criado um aparelho semelhante, mas que recorre ao uso de um transdutor de pressão, de forma a apresentar o valor da força num *display* electrónico (figura 2.4).



Figura 2.4 – Jamar electrónico.

2.4 Dinamómetros electrónicos

Os dispositivos electrónicos têm como princípio de funcionamento o uso de células de carga. Estas, são transdutores que convertem a força (pressão ou deformação sofrida pelo elemento sensor) num sinal eléctrico, que depois de ser devidamente condicionado permite estimar o valor da força realizada pelo utilizador e apresentá-la num mostrador digital.

Como caso concreto temos o dinamómetro DynEx que se apresenta na figura 2.5 em baixo.



Figura 2.5 – Dinamómetro DynEx.

Este dinamómetro é um dos mais modernos do mercado, e o seu funcionamento baseia-se no uso de células de carga, mais precisamente em extensómetros. Isto é possível

através de um circuito integrado, ao qual está aliado um microprocessador com uma boa capacidade de cálculo, debitando, após cada teste, a força média e o desvio padrão. Este dinamómetro tem ainda a capacidade de gravar automaticamente os resultados dos testes, sendo possível gravar até 10 testes dinamométricos, cujos dados ficam em memória até que o dispositivo seja desligado ou se desligue automaticamente.

No seguimento daquilo que foi dito acerca do dinamómetro Jamar, este dispositivo tem diferentes tipos de pegas, de maneira a proporcionar a posição mais adequada à mão de cada um.

Este dispositivo tem uma resolução de 0,1 kgf e pode medir até uma força de 90 kgf.

2.5 Protótipo actual do “Hand Grip”

O protótipo actual (figura 2.6) é um dinamómetro electrónico, que tem por base um elemento sensor piezoresistivo. Este elemento sensor funciona como uma resistência que aquando da aplicação de força na sua superfície, a sua resistência varia inversamente com a intensidade dessa força. Este tipo de sensor é inovador neste género de instrumento de medição. À semelhança do DynEx, o protótipo actual tem um circuito integrado com um microcontrolador, que lhe permite a aquisição e tratamento de dados provenientes do elemento sensor de modo a exibir a informação num mostrador digital.

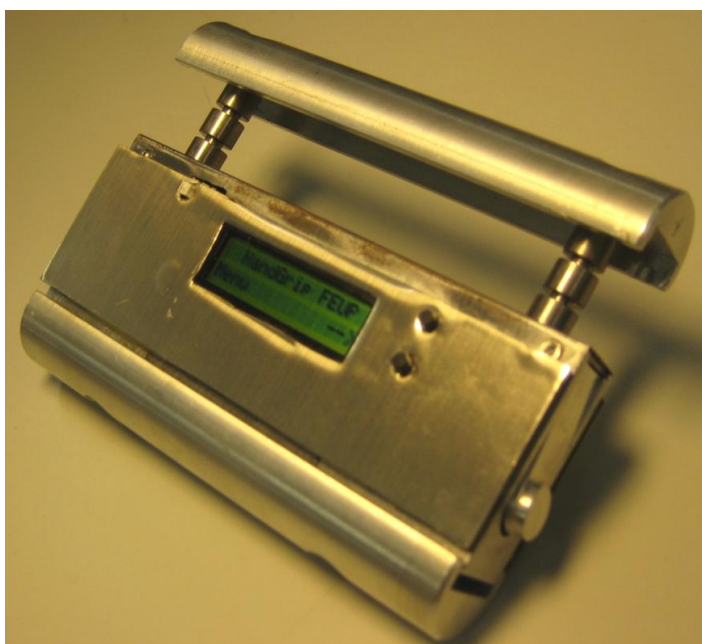


Figura 2.6- Protótipo actual do “HandGrip”.

Este distingue-se dos outros dinamómetros devido ao facto de apresentar um *design* inovador e compacto. Tendo um baixo peso e pequenas dimensões, o que contribui fortemente para a sua portabilidade, facto preponderante no meio hospitalar onde se insere. Quanto à electrónica, destaca-se o uso de um microcontrolador para a interpretação e tratamento de dados vindos do sensor, tendo uma boa autonomia energética.

As características mais relevantes do protótipo apresentado, são o facto de ter um peso de 0,270 kg, uma resolução de 0,1 kgf e uma força máxima de prensão de 100 kgf.

De notar que este protótipo será descrito com mais pormenor ao longo dos próximos capítulos onde serão confrontadas as soluções do protótipo em questão com as novas soluções a implementar neste projecto.

2.6 Conclusão

Como jeito de conclusão apresenta-se a seguinte tabela (tabela 2.2) comparativa dos dispositivos expostos anteriormente.

Tabela 2.2 – Comparativa dos Dinamómetros apresentados.

	Smedley	Jamar (hidráulico)	DynEx	“HandGrip”
Gama de força [kgf]	0 – 100	0 – 90	0 – 90	0 – 100
Distância entre pegas [mm]	43 a 66	35 a 86 35 + 4 x 12,7	35 a 86 35 + 4 x 12,7	59 a 89 59 + 4 x 7,5
Resolução [kgf]	2	2	0,05	0,1
Alimentação [V]	-	-	9	3,7
Massa [kg]	0,523	-	0,3	0,270
Preço [€]	100	161	542	-

Dos diferentes tipos de dispositivos para medir a força prensora pode dizer-se que os aparelhos mecânicos apenas se mostram vantajosos devido ao seu baixo custo e em actividades que não exijam grande rigor. Realça-se apenas, o facto de o Smedley ser o único dinamómetro com a possibilidade de um ajuste fino (meio passo da rosca de ajuste) da distância entre pegas.

O aparelho hidráulico Jamar, apesar da sua grande fiabilidade e reconhecimento no meio hospitalar, mostra-se pouco ergonómico, na medida em que é bastante volumoso e consequentemente, pesado. Apresenta ainda a desvantagem de a pega extensível ter o seu comprimento confinado pelos dois veios de transmissão de força, o que se pode mostrar desconfortável para utilizadores com mãos de maiores dimensões (“mais largas”).

Já os dinamómetros electrónicos, estão em grande expansão e desenvolvimento, pelo que primam pela sua precisão, portabilidade e toda uma flexibilidade de manuseamento de dados dependendo do *hardware* e *software* instalados no dispositivo.

Quanto ao protótipo desenvolvido, em comparação com o DynEx que é da mesma categoria, podemos dizer que o “HandGrip”, apresenta um *design* mais apelativo e compacto, tendo menor peso. Como inconveniente, tem o facto de a distância mínima entre pegas ser de 59 mm o que limita o seu uso por parte de pessoas com uma mão mais pequena.

3 Princípio de Funcionamento

3.1 Introdução

Neste capítulo iremos abordar o princípio de funcionamento do dispositivo, quer do ponto de vista electrónico, em que se realça o elemento sensor, quer do ponto de vista mecânico, em que se destaca o mecanismo de transmissão de força até ao elemento sensor. Iremos também apresentar os motivos que nos levaram a enveredar por determinada solução e desenvolver um pouco os seus fundamentos.

3.2 Elemento Sensor

Tendo em conta que o objectivo deste projecto assenta na melhoria de um protótipo já existente, e, sendo este um propósito bastante generalista, foi necessário avaliar os pontos críticos a estudar mais profundamente e outros, mais pacíficos que, dado o feedback positivo do anterior projecto, não seriam abordados tanto em pormenor.

Portanto, acerca do elemento sensor, este foi um dos componentes que teve uma avaliação positiva por parte da análise ao anterior projecto, pelo que foi decidido manter o mesmo componente e o mesmo princípio de funcionamento, alterando-se apenas a electrónica inerente ao condicionamento de sinal, tema do quinto capítulo destinado à electrónica.

O elemento sensor utilizado é um sensor piezoresistivo, o Tekscan's FlexiForce A201 (figura 3.1). Este funciona como uma resistência, que varia o seu valor inversamente à intensidade da força aplicada na sua superfície. Quando não se encontra sobre carga apresenta uma resistência máxima de 20 M Ω , ao passo que, para a outra situação extrema, quando carregado com 450 kgf a sua resistência ronda os 5 k Ω .



Figura 3.1 – Sensor piezoresistivo *FlexiForce*.

Quanto às suas dimensões, a área útil de ataque tem um diâmetro de 9,5 mm, e as dimensões exteriores são de 14 mm de largura, comprimento variável (25 a 200 mm) de

Princípio de Funcionamento

acordo com a necessidade (o fabricante desaconselha o corte da fita a jusante da parte sensível, mas os testes realizados não apresentaram quaisquer problemas quando tal foi realizado), e espessura de 0,2 mm.

Na figura 3.2 é apresentada a montagem recomendada pelo fabricante.

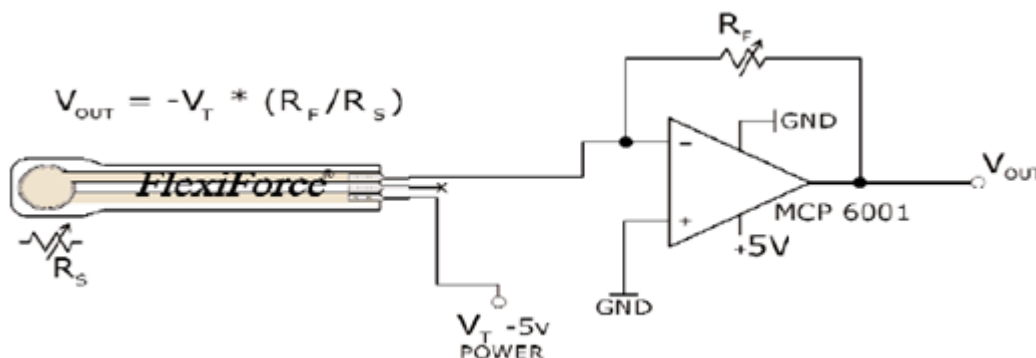


Figura 3.2 – Circuito de condicionamento de sinal aconselhado pelo fabricante.

De salientar algumas considerações a que deve obedecer o circuito anterior:

- Tensão de alimentação deve ser constante (5V);
- Resistência de referência (R_F) deve variar entre 1 k Ω e 100 k Ω ;
- Resistência do sensor em vazio > 5 M Ω ;
- Corrente máxima recomendada de 2.5 mA.
-

Tendo em conta o circuito mostrado na figura 3.2, as figura 3.3 e a

tabela 3.1 apresentam alguns dados cedidos pelo fornecedor:

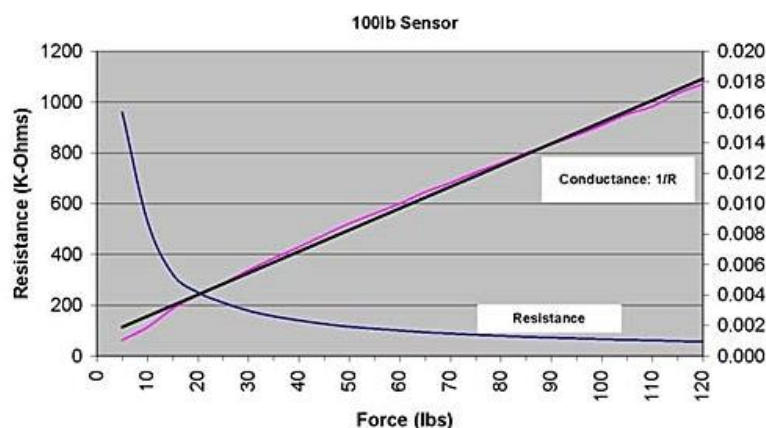


Figura 3.3 - Curvas de evolução da resistência/condutividade, função da força (catálogo Flexiforce).

Tabela 3.1- Características do sensor piezoresistivo *FlexiForce*.

Características	
Erro de linearidade	$< \pm 5\%$
Repetibilidade	$< \pm 2.5\%$ (80% de força aplicada)
Histerese	$< 4.5\%$ (80% de força aplicada)
Desvio	$< 5\%$ em escala de tempo logarítmica (carga de 90%)
Tempo de resposta	< 5 microsegundos
Temperaturas de operacionalidade	-9°C até 60°C
Força	440 N (varia com o tipo de condicionamento de sinal)
Sensibilidade à temperatura	0.36% por $^{\circ}\text{C}$

3.3 Princípio do Funcionamento Mecânico

Estabelecido o elemento sensor para medir a força aplicada, falta definir o modo como a força vai ser transmitida até ao sensor.

Neste capítulo, vamos começar por fazer uma análise à estrutura mecânica do anterior protótipo, de maneira a identificar quais os principais problemas que se evidenciaram com a sua utilização. Desta forma podemos traçar as linhas orientadoras para a nova solução estrutural que iremos apresentar.

3.3.1 Solução utilizada no anterior protótipo

No anterior protótipo optou-se por implementar uma estrutura em “C”, como se pode visualizar na figura 3.4.

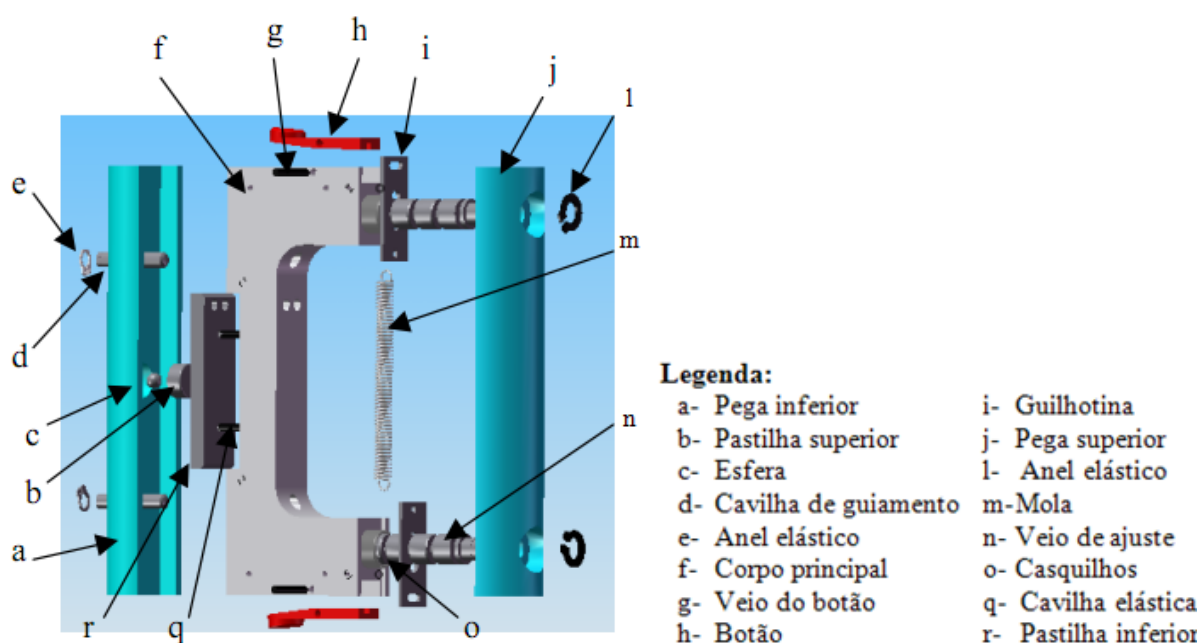


Figura 3.4 – Vista explodida do protótipo anterior.

O ataque ao sensor é feito directamente através da pega inferior (a), que tem como guiamento as cavilhas (d). A extensão da pega superior (j) é conseguida através da translação dos veios de ajuste (n) que encaixam nas guilhotinas (i). Os botões (h) são os responsáveis por actuar as guilhotinas, desencravando os veios (n) quando se pretende alterar a distância entre pegas. De realçar a esfera (c) que é responsável pelo paralelismo entre a pastilha superior (b) e a pastilha inferior (r), o que garante que a força seja igualmente distribuída por toda a superfície do sensor.

Como em qualquer projecto, é sempre muito difícil simular as condições de funcionamento de determinado dispositivo. Pelo que, quando se passa à fase de execução prática do mesmo, podem aparecer alguns problemas inesperados.

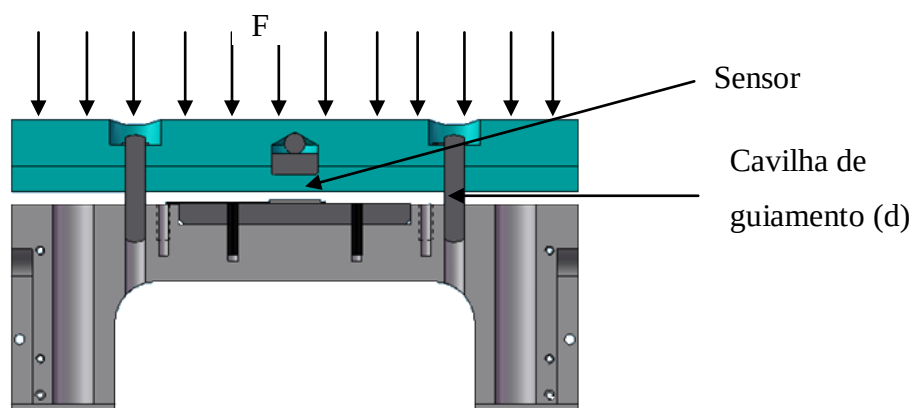


Figura 3.5 - Sistema de transmissão da força de prensão da mão.

Neste caso, o grande problema que se veio a evidenciar, foi o guiamento deficiente realizado pelas cavilhas (d), dado que, se o utilizador exercesse uma força de prensão que não no seu centro, eram apresentados valores de força incorrectos. Este problema reflectiu-se no facto de ao fim de alguns testes, a pega inferior entrar em contacto com uma das tampas, o que originou com que alguma da força se dissipasse directamente para o corpo e não para o sensor. O facto de as cavilhas de guiamento terem dimensões reduzidas, aliado a um desgaste prematuro dos furos de guiamento/posicionamento das mesmas, podem ter sido a origem deste problema.

3.3.2 Solução implementada

Na fase inicial deste projecto, começou por se estudar o tipo de mecanismo a utilizar para aplicar a força da mão até ao elemento sensor, tendo em conta: os objectivos propostos, as deficiências detectadas no protótipo anterior, o espaço disponível e o facto de se procurar manter o *design* do anterior protótipo.

Dado que o intuito do dispositivo é medir a força de aperto da mão, e que um dos defeitos por que pecou o protótipo anterior, era o de não existir um guiamento eficiente que transmitisse a força até ao elemento sensor de forma consistente e coerente para qualquer ponto de aplicação desta (para diferentes posições de aperto do aparelho, diferentes valores de medição são apresentados). Várias configurações de transmissão de força foram estudadas para solucionar o problema, concluindo-se que os mecanismos de transmissão utilizados em balanças, seriam um bom ponto de partida para este trabalho. Uma vez que se tratam de mecanismos amplamente desenvolvidos e porque partilham uma série de características muito semelhantes com o sistema que queremos implementar, fez-se um breve estudo da mecânica da balança que se encontra na figura 3.6 [12].

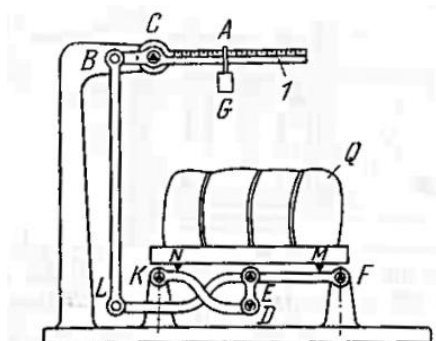


Figura 3.6- Balança de plataforma.

Quando a plataforma é carregada com uma carga Q , a barra 1 inclina-se devido à alteração das forças envolvidas, sendo encontrado novamente o equilíbrio, através da movimentação da massa G .

A equação que traduz o equilíbrio do sistema é a seguinte:

$$G = Q \frac{EF \ BC}{LE \ AC}$$

Para tal, o mecanismo deve obedecer à seguinte condição dimensional:

$$\frac{KN}{EK} = \frac{MF}{FE}$$

A particularidade interessante deste sistema é o facto de o mecanismo se comportar como um somador de reacções nos pontos N e M , tornando a medida independente da posição da carga Q sobre o estrado.

Extrapolando este mecanismo para o projecto em causa optou-se pela seguinte disposição de forças alternativa (figura 3.7) que é descrita pela equação 3.1.

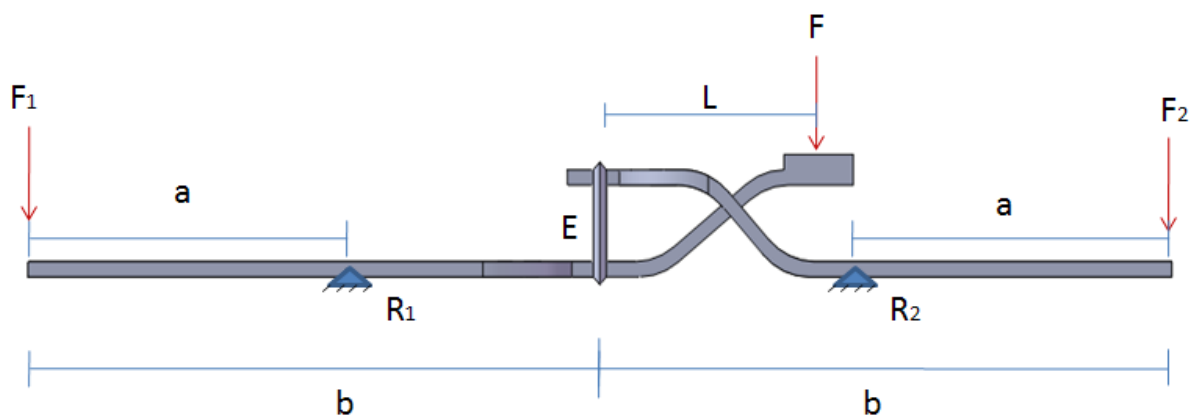


Figura 3.7 – Diagrama de forças da balança.

$$F = (F_1 + F_2) \left(\frac{a}{L + b - a} \right) \quad (3.1)$$

Para melhor entender o paralelismo entre o diagrama apresentado na figura 3.7 e o projecto em questão, fez-se uma breve descrição das forças envolvidas. As forças **F1** e **F2** correspondem à aplicação de carga na pega do dispositivo, o que vai fazer com que os dois braços rodem em torno dos pontos de apoio **R1** e **R2**. Os braços vão fazer, consequentemente, efeito de alavanca e repercutir a carga aplicada (**F1** + **F2**) no elemento sensor associado à força **F**. O elo de ligação **E** é responsável pela soma da força **F2** à força **F1**. Destaca-se que este elemento de ligação **E**, vital no sistema, tem a especificidade de não absorver momentos, tal como os apoios das alavancas. Isto é importante na medida em que as forças **F1** e **F2**, devem ser transmitidas integralmente de encontro com a força opositora **F**.

Na figura 3.8 é possível ter uma ideia de uma primeira solução empregando o princípio apresentado anteriormente (as setas a azul representam a carga aplicada ao dispositivo).

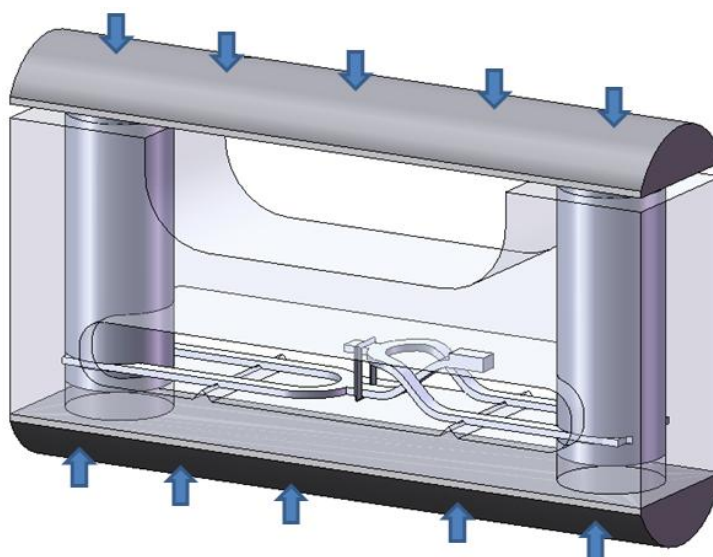


Figura 3.8 – Esboço de uma primeira abordagem à solução construtiva.

Este mecanismo foi amplamente estudado sendo sucessivamente modificado, de maneira a melhor conjugar os componentes, mentendo-se sempre o princípio descrito.

3.4 Conclusão

Neste capítulo foi mostrada uma das primeiras fases por que passou este projecto. Por um lado, foi posto em evidência o facto de o elemento sensor se ajustar perfeitamente aos propósitos deste trabalho. Quanto ao princípio de funcionamento mecânico, este mereceu um estudo mais aprofundado, concluindo-se que a balança de plataforma é um bom ponto de partida para o projecto mecânico.

4 Projecto Mecânico

4.1 Introdução

Este capítulo aborda o processo evolutivo através do qual passou a fase de *design* e da mecânica estrutural, sendo realçadas algumas soluções construtivas, que levaram à modelação do novo protótipo. São também apresentadas as simulações realizadas através do método dos elementos finitos, que permitiram estudar os efeitos da força de preensão nos diferentes elementos, com o propósito de analisar as respectivas tensões. O software utilizado para modelar as diferentes peças foi o SolidWorks 2007, sendo as simulações realizadas no COSMOSWorks.

4.2 Evolução do projecto

Na sequência do capítulo anterior, em que se abordou o princípio de funcionamento mecânico, pretende-se agora transpor esse conceito para uma solução viável, passível de ser construída e que cumpra as restrições dimensionais, funcionais, etc. Nesse sentido convém enumerar uma série de requisitos que se expõem de seguida:

- O dispositivo deve ser capaz de suportar uma força de 100 kgf;
- *Dimensões exteriores* - A distância mínima entre pegas (actualmente de 59mm) deverá equivaler à mais pequena posição Jamar possível: 1 ou 2 (35 e 48 mm respectivamente). As restantes dimensões, embora dependendo do *design* adoptado, não devem diferir muito dos valores apresentados (figura 4.1), uma vez que o aparelho foi considerado bem equilibrado estética e funcionalmente.

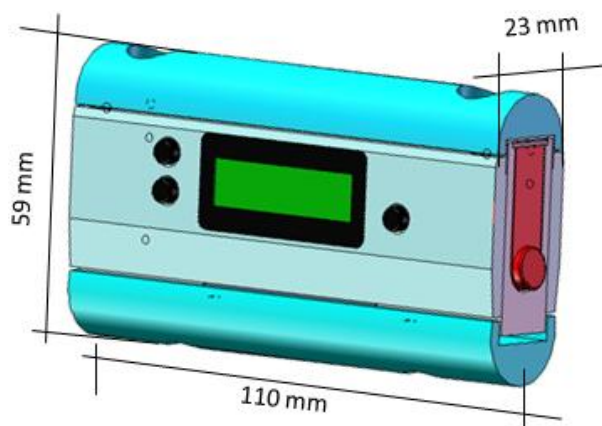


Figura 4.1 – Dimensões do “HandGrip”.

- *Atravancamento* - Dado que o espaço é bastante reduzido é necessário ter em conta todos os componentes que terão de ser instalados no dispositivo de maneira a escolher a melhor disposição e ver como irão interagir. Destacam-se o LCD, a bateria, o sensor, a electrónica e a ficha USB.
- *Eficiência na transmissão de força* - Tal como já foi referido anteriormente, a transmissão da força ao longo do mecanismo deve ser o mais eficiente possível, na medida em que todos os atritos devem ser minimizados, quer pelo uso de casquilhos, quer por contactos pontuais (por exemplo o uso de esferas) etc.
- *O corpo* – Deverá ser compacto e se possível feito numa só peça, de maneira a garantir boa rigidez. Uma vez que se trata um aparelho de medição ou seja um instrumento de precisão, este não tolera deformações.
- *Processo de fabrico* - Tendo em conta, que é um protótipo mais próximo do produto final, o seu processo de fabrico deve ser de baixo custo, tendo em vista a sua produção em massa.

(De referir, que parte destes pressupostos advêm do *feedback* traçado pelos técnicos, aquando da utilização do anterior protótipo em meio clínico.)

Na figura 4.2, estão representados os diferentes componentes electrónicos com dimensões próximas das reais, para dar uma ideia do seu atravancamento.

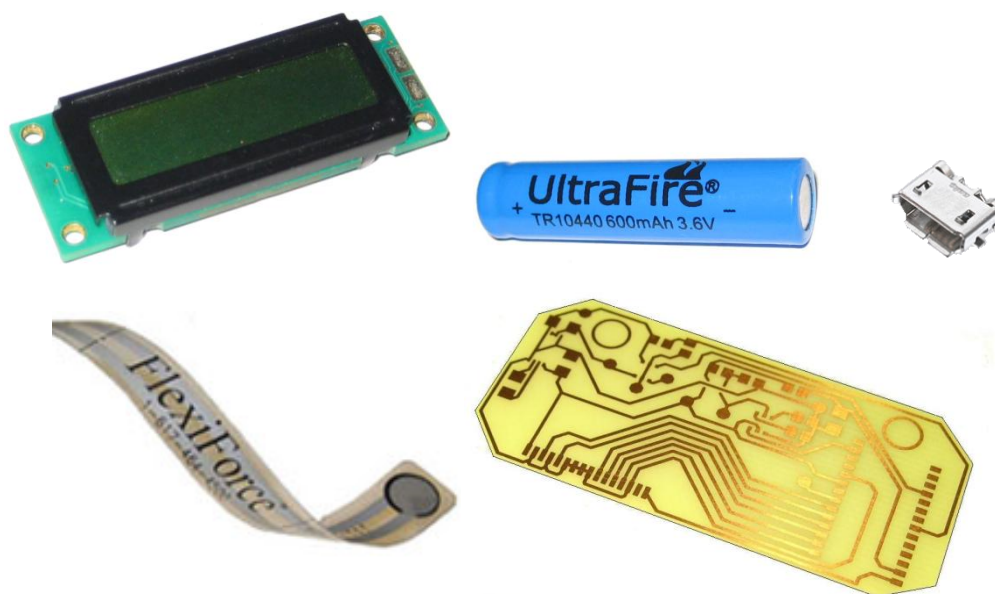


Figura 4.2 – Componentes electrónicos – LCD, Bateria, USB, Sensor, Placa de circuito.

Tendo o processo sofrido várias iterações, procurou-se resumir nos próximos pontos aqueles que foram alvo de maior estudo.

4.2.1 Primeira evolução

Na sequência do que foi dito no terceiro capítulo e partindo do esboço que foi apresentado na figura 3.8, tentou-se chegar a uma solução construtiva que implemente o princípio da balança de plataforma e que tenha em conta os pressupostos enumerados no ponto anterior.

Dando corpo à ideia do mecanismo de transmissão de carga, e pensando no processo como este seria executado, partiu-se para a solução apresentada na figura 4.3. Considerando uma carga prensora máxima de 100 kgf, esta pode repartir-se por cada uma das alavancas do mecanismo desde um valor a tender para zero, até um valor de 100 kgf para a situação de carga máxima (situações extremas de carregamento). Assim sendo, reforçaram-se as alavancas, mantendo o elo de ligação entre ambas que seria o ponto mais frágil desta solução. Portanto, a força aplicada ao dispositivo irá fazer com que a superfície onde se encontra o sensor (a verde), seja comprimida contra o corpo, introduzindo carga no sensor.

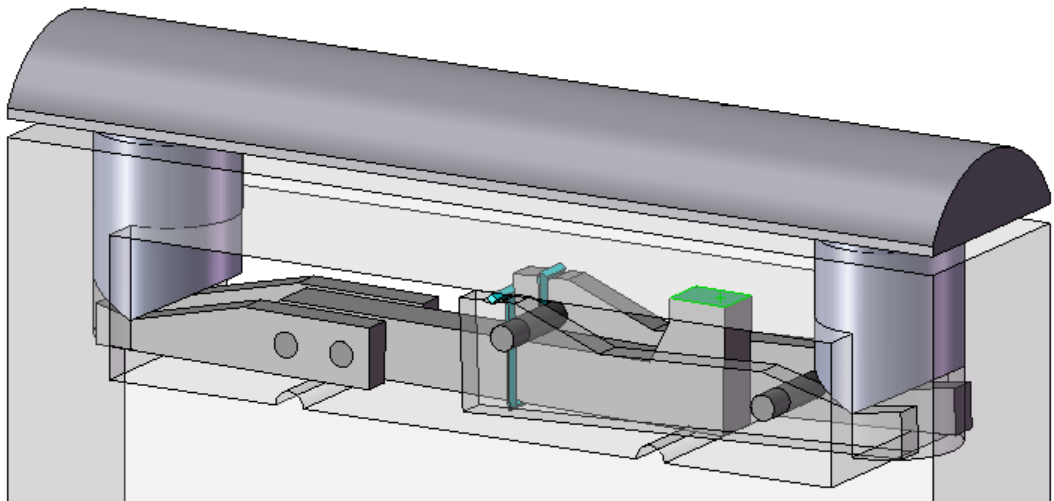


Figura 4.3 – Primeira solução para o mecanismo de transmissão de carga.

A manifesta fragilidade das alavancas, no desenho da solução inicial, assim como a sua complexidade de forma, é incompatível com os meios de produção disponíveis. Tendo isto em conta, e o facto de o elo de ligação entre ambas as alavancas se revelar bastante frágil, procurou-se chegar a outra solução mais viável.

4.2.2 Segunda evolução

Uma das alterações realizadas, foi o modo como se restringe o movimento das alavancas segundo xx. Na primeira solução, os entalhes responsáveis por esta restrição estavam dispostos na superfície inferior das colunas, interferindo com o rebaixo na ponta das alavancas. Nesta solução, de modo a simplificar o processo de produção, optou-se por dispor os entalhes a meio das alavancas (distinção a vermelho, figura 4.4), sendo agora os cutelos responsáveis por impedir a translação das mesmas segundo xx (figura 4.4). Mais uma vez, realça-se o facto do contacto entre estes componentes assentar sobre uma aresta, evitando assim que haja absorção de esforços sobre a forma de momentos.

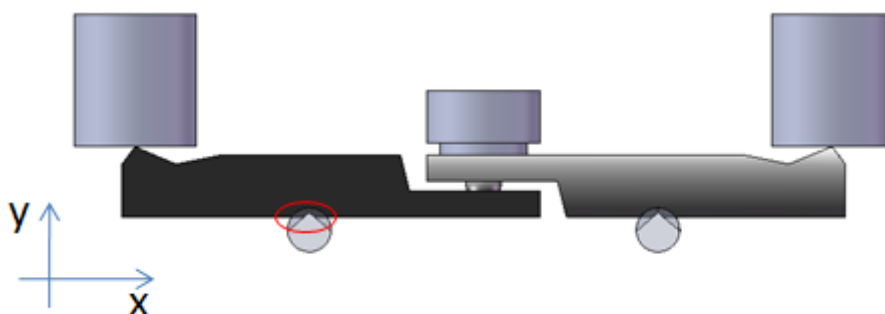


Figura 4.4 - Segunda solução para o mecanismo de transmissão de força.

O factor que mais distingue esta solução, é o facto de a transmissão de força entre as alavancas ser agora conseguido por meio de uma esfera. Com esta nova disposição do mecanismo, a fórmula (3.1) poderá ser simplificada na expressão 4.1, uma vez que $L=0$ e $b=2a$.

$$F = (F_1 + F_2) \quad (4.1)$$

Poder-se-ia ter alterado a relação de braços e ter um ganho no valor da força descarregada no sensor, mas achou-se que esta seria a melhor solução tendo em conta a geometria do sistema.

Nesta solução é também possível visualizar a “cassete”, responsável pela interface entre o corpo e o sensor, que se situa na face de cima da alavanca superior sobre o eixo de ligação das duas alavancas.

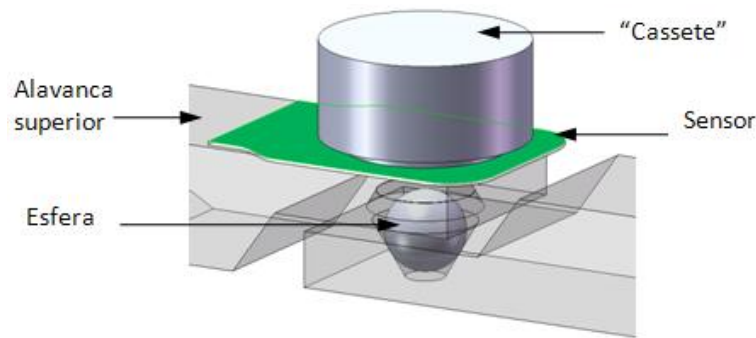


Figura 4.5 – Pormenor de transmissão da força entre alavancas.

Portanto, a transmissão de força é feita através de uma esfera (figura 4.5). Este contacto que é pontual, diminui os atritos de um eventual movimento relativo entre alavancas, tendo também a vantagem de restringir apenas o movimento vertical, perpendicular à superfície de contacto.

Coloca-se agora o problema de incorporar os vários componentes na estrutura principal - o corpo - que deverá ser compacto e manter-se uma peça rígida. Um dos componentes fundamentais a incorporar neste mecanismo é a “cassete” atrás referida, esta é responsável pelo paralelismo entre a face superior da alavanca na qual se vai dispor o sensor (como se pode observar na figura 4.5), e a pastilha inferior (figura 4.6) da “cassete” que está solidária com o corpo.

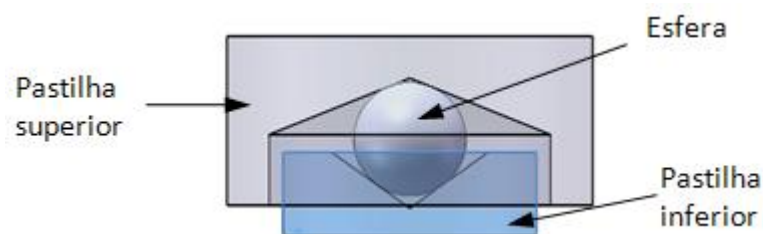


Figura 4.6 – Cassete de apoio ao elemento sensor.

Tendo em conta estes factores, chegou-se a uma solução “exequível” com as alavancas a entrarem por uma abertura circular lateral do corpo, como se pode ver na figura 4.7.

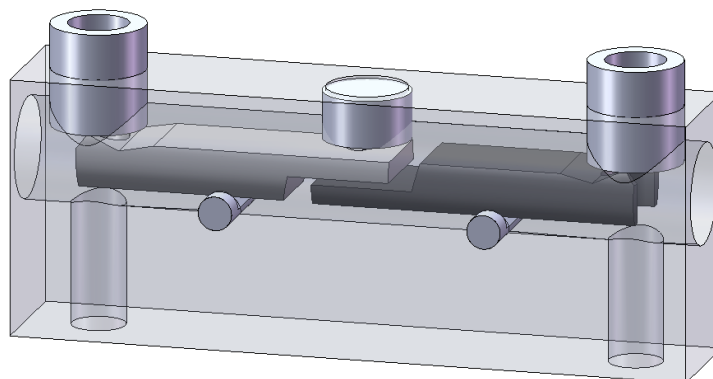


Figura 4.7 - Solução estrutural – segunda evolução.

Sendo esta uma solução viável de transmissão de carga, é então necessário conjugá-la com o espaço necessário para alojar os componentes apresentados no início deste capítulo. Sendo o LCD e a bateria os que, devido às suas dimensões, causam maiores problemas de atravancamento. Foi encontrada uma disposição que minimizasse o atravancamento do dispositivo (figura 4.8)

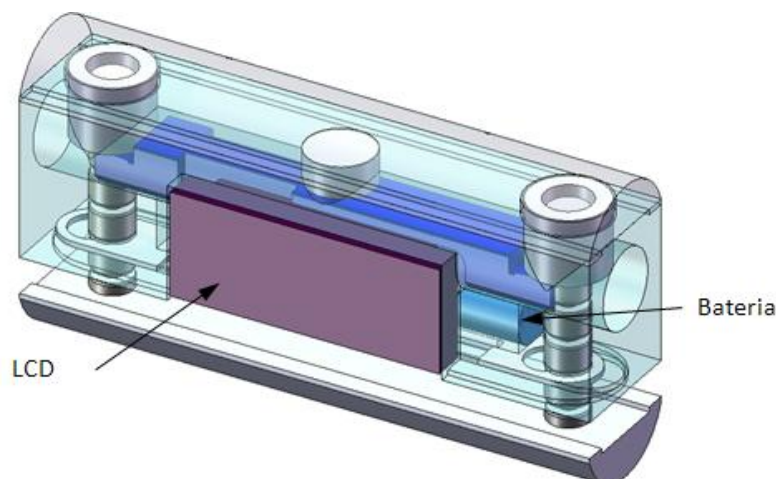


Figura 4.8 – Solução de conjunto – segunda evolução.

Pode-se ver nesta figura, o LCD já incorporado na estrutura, ladeado pelas alavancas e a bateria na parte de trás. Nesta solução constam já as colunas extensíveis devidamente entalhadas, de maneira a poder estender a pega inferior até à medida que melhor se ajusta à mão de cada utilizador. Os entalhes nas colunas servem de encaixe para a guilhotina que funciona como obstáculo ao movimento da pega inferior.

Uma particularidade que permitiu poupar bastante espaço na estrutura do dispositivo, é o facto de as colunas extensíveis, serem coaxiais às colunas exteriores. Assim, consegue-se manter as colunas extensíveis, com um comprimento semelhante ao do anterior protótipo, sem interferir com o sistema desenvolvido até este ponto (figura 4.9).

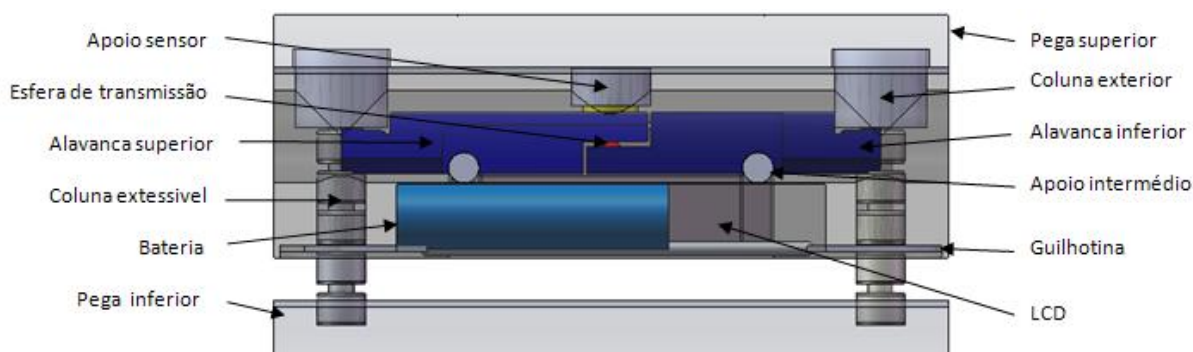


Figura 4.9 – Vista de trás do conjunto – segunda evolução.

Com estas “arrumações” conseguiu-se uma solução, em que a distância mínima entre pegos foi diminuída para a posição 2 de Jamar (48 mm), sendo as restantes dimensões muito próximas do primeiro protótipo.

Tendo por base o seu *design*, esta solução apresenta um problema, quando se faz uma análise estrutural profunda. A construção do corpo seria bastante complexa, e não resistiria aos esforços envolvidos caso se pretendesse manter a mesma espessura (23 mm – anterior protótipo).

4.2.3 Terceira evolução

Com a segunda evolução, confirmou-se o que tinha sido detectado ao longo do estudo do estado da arte. Dadas as dimensões do LCD, seria bastante difícil conseguir obter uma solução de *design* compacta, que albergasse todos os componentes no corpo e que tivesse resistência estrutural.

Na figura 4.10, o “TalkingPowerGrip” apresenta uma solução onde o LCD, bateria e electrónica estão completamente fora da parte mecânica.



Figura 4.10 – Dispositivo “TalkingPowerGrip”.

Tendo em vista este compromisso de se ter que utilizar um *display* comercial, ficamos condicionados pelo seu atravancamento e instalação no aparelho. Melhor solução se conseguiria se esta restrição não existisse e fosse possível utilizar um *display* mais pequeno, donde resultaria uma forma para o corpo bastante mais simples.

Posta esta questão, tentou-se uma abordagem a um outro tipo de *design*, à semelhança do dispositivo DynEx apresentado no segundo capítulo, em que é usado um apêndice para alojar o LCD (figura 4.11).

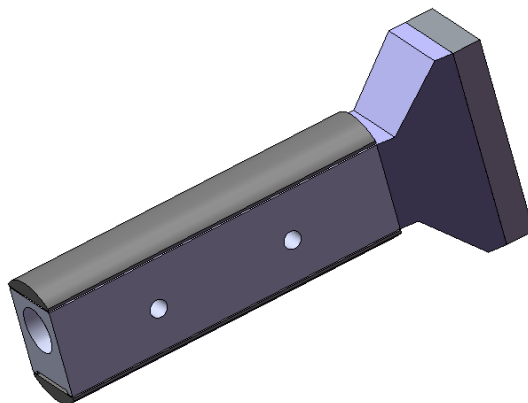


Figura 4.11 – *Design* alternativo com LCD exterior ao corpo.

Com esta solução, é possível obter uma distância entre pegas, equivalente à posição 1 de Jamar (35mm), como contrapartida a abertura máxima seria menor do que a do anterior protótipo, uma vez que é aproximadamente o dobro da extensão mínima.

Após momentos de grande discussão em que se ponderaram as diferentes soluções, pesou mais o facto de se querer manter o *design* compacto, sem peças postiças, de forma a conseguir um menor atravancamento. Pelo que se voltou a tentar por uma solução mais compacta.

4.3 Solução final

Após um longo processo iterativo, foi conseguida uma solução final do dispositivo, que tem uma distância entre pegas equivalente à posição 2 de Jamar, tira proveito de todo o espaço disponível e mantém uma estrutura rígida e funcional. Na figura 4,12 é possível visualizar o aspecto final do protótipo desenvolvido.

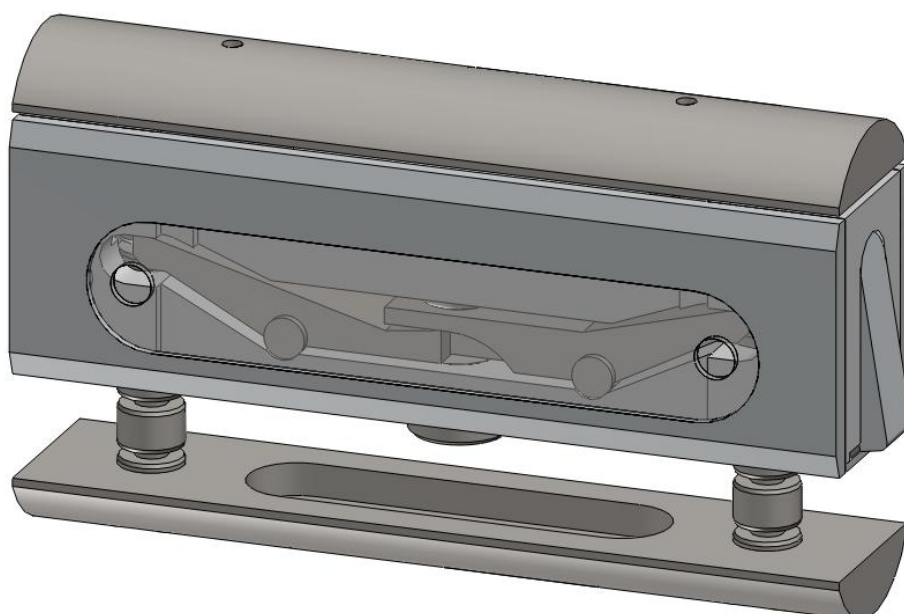


Figura 4.12 – Solução final do dispositivo

Na sequência do que foi dito no anterior ponto 4.2.3, para chegar a esta solução, fez-se uma pesquisa exaustiva do tipo de LCDs existentes no mercado, de maneira a encontrar um que melhor se adaptasse ao espaço disponível. Optou-se, por substituir o LCD existente MTB-S000115RYHS de dimensões: 53 x 20 x 8, pelo SD1602E de dimensões: 68x25x5.2 (figurafigura 4.13), que apesar de ter uma maior área, tem uma espessura mais reduzida, factor determinante na sua incorporação no conjunto.

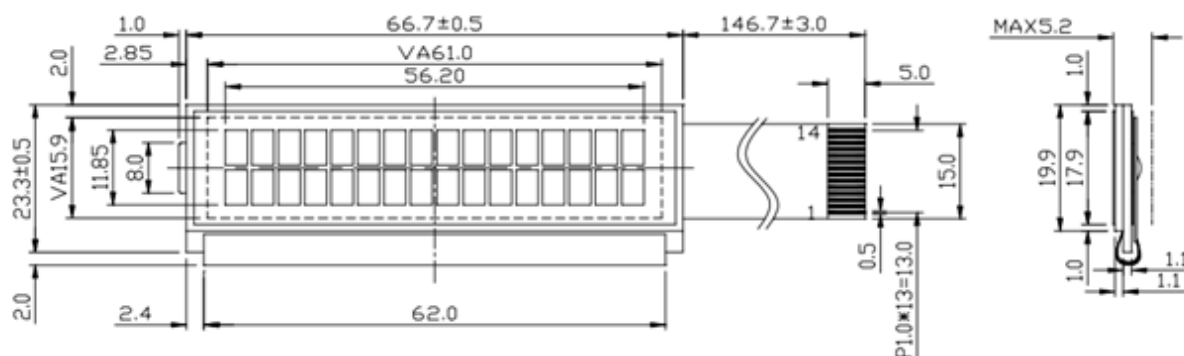


Figura 4.13 – Dimensões do LCD SD1602E

Na figura 4.14 apresenta-se uma vista parcialmente seccionada do dispositivo, de modo a poder visualizar o seu mecanismo interior.

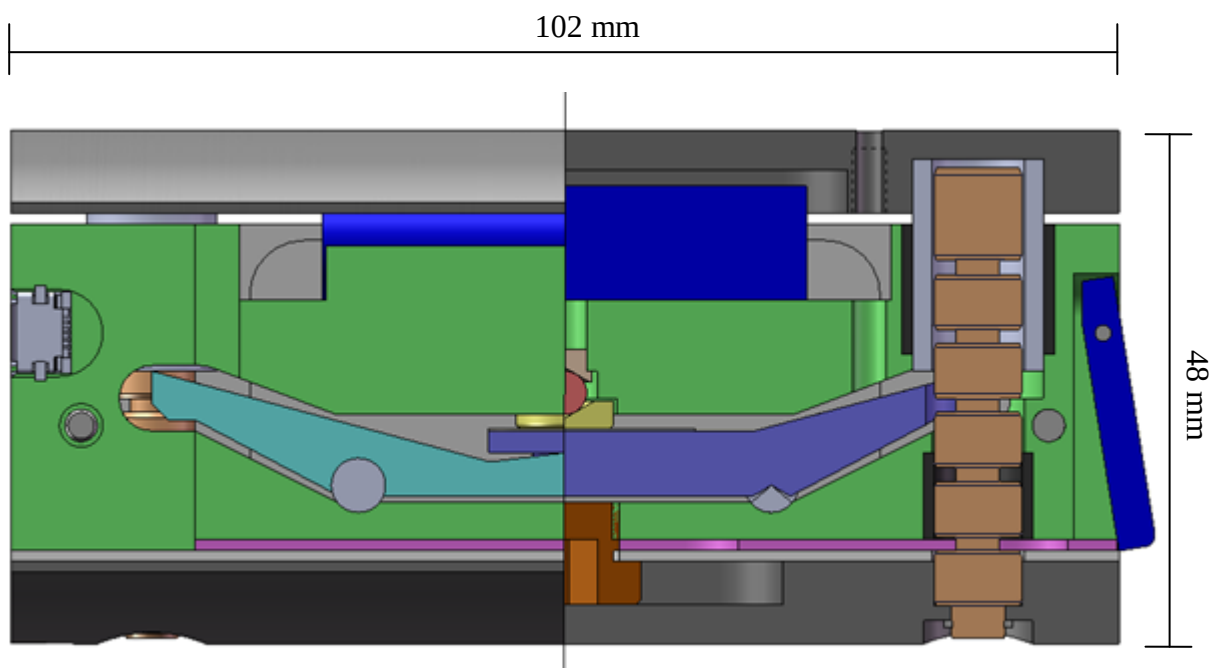


Figura 4.14 – Vista frontal seccionada.

O accionamento da guilhotina, é feito por um único botão representado a azul na lateral direita do corpo, face ao anterior protótipo em que, existiam dois botões.

Na próxima figura 4.15, é possível visualizar em pormenor o sistema de transmissão de força aplicado na solução final. A força aplicada na pega fixa, repercute-se nas alavancas através das forças representadas a lilás, e as reacções impostas pelo corpo aparecem a verde.

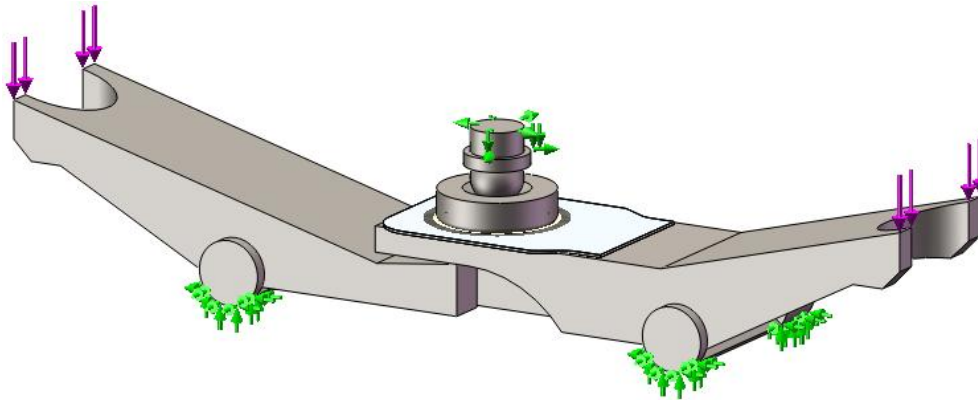
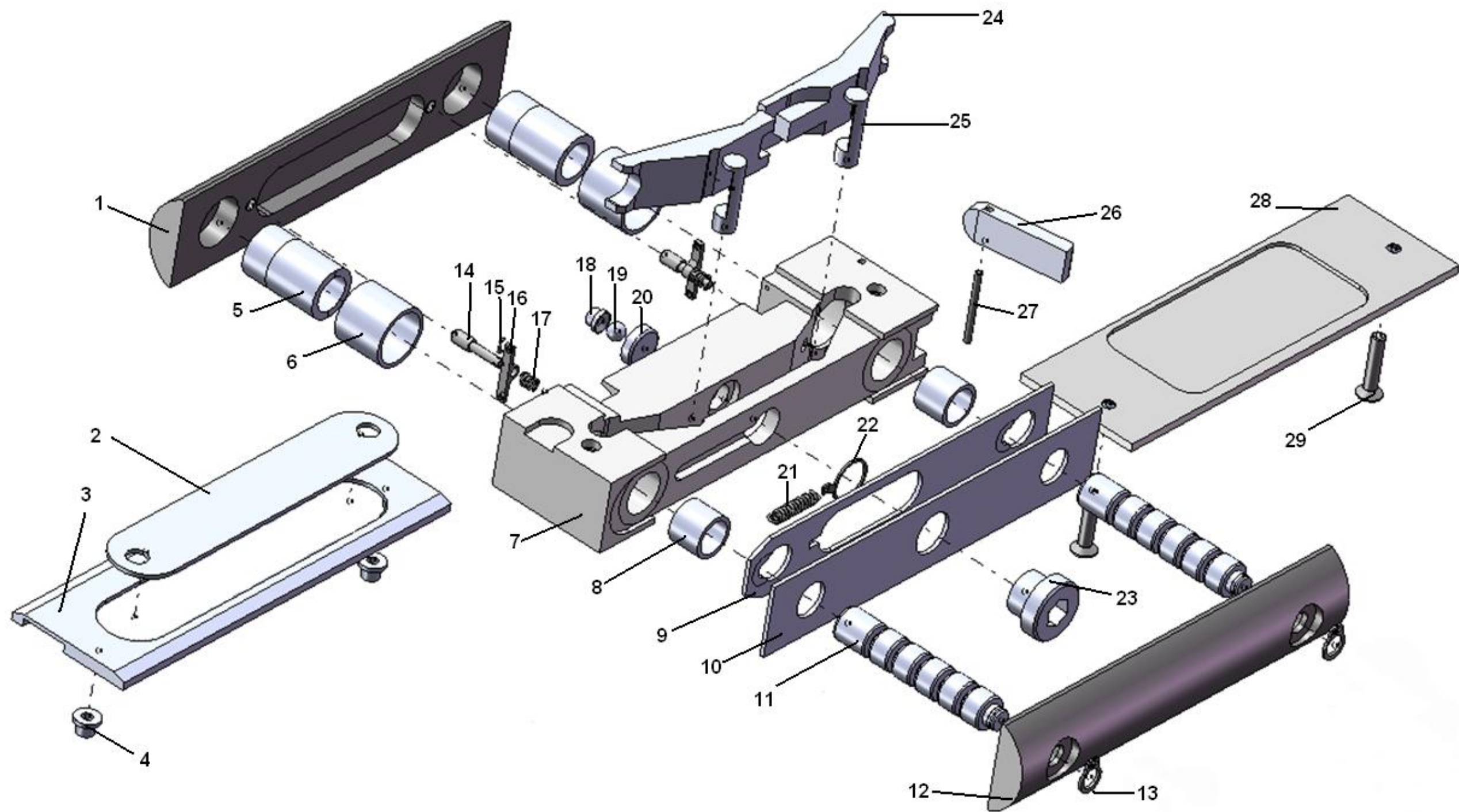


Figura 4.15 – Sistema de transmissão de força aplicado à solução final.

Nesta figura é possível ver algumas das alterações mais significativas, das quais se destacam:

- A transmissão da força entre alavancas já não ser feita por esfera, mas por contacto sobre uma linha;
- O formato das alavancas já não é recto (acompanha o formato do corpo).

De modo a melhor compreender, e poder visualizar todos os componentes constituintes do aparelho, na figura 4.16 é apresentada uma vista explodida do dispositivo. (De notar que apenas são apresentados os componentes mecânicos.)



1- Pega fixa	5- Coluna exterior	9- Guilhotina	13- Anel elástico	17- Mola - Pega	21- Mola - guilhotina	25- Cutelo	29- Parafuso M3 x 21
2- Tampa LCD ext	6- Casquilho 12x14 x12	10- Tampa Guilhotina	14- Cavilha pega fixa	18- Cassete superior	22- Anilha mola	26- Botão	
3- Tampa LCD	7- Corpo	11- Coluna extensível	15- Cavilha mola	19- Esfera	23- Bujão	27- Cavilha botão	
4- Ligação roscada tampa	8- Casquilho 8 x 10 x 8	12- Pega extensível	16- Ligação roscada corpo	20- Cassete inferior	24- Alavanca superior	28- Tampa PCB	

Figura 4.16 – Vista explodida do novo protótipo.

Expõem-se, de seguida, alguns aspectos construtivos considerados mais relevantes para a melhor compreensão do funcionamento do dispositivo.

A característica de extensão das pegas, realçada aquando da exposição dos aparelhos existentes no mercado, está também aqui presente. Esta é conseguida através da actuação de um botão lateral que trabalha em oposição à mola e através do qual se desloca uma lâmina (guilhotina) responsável pelo bloqueamento/desbloqueamento das colunas extensíveis.

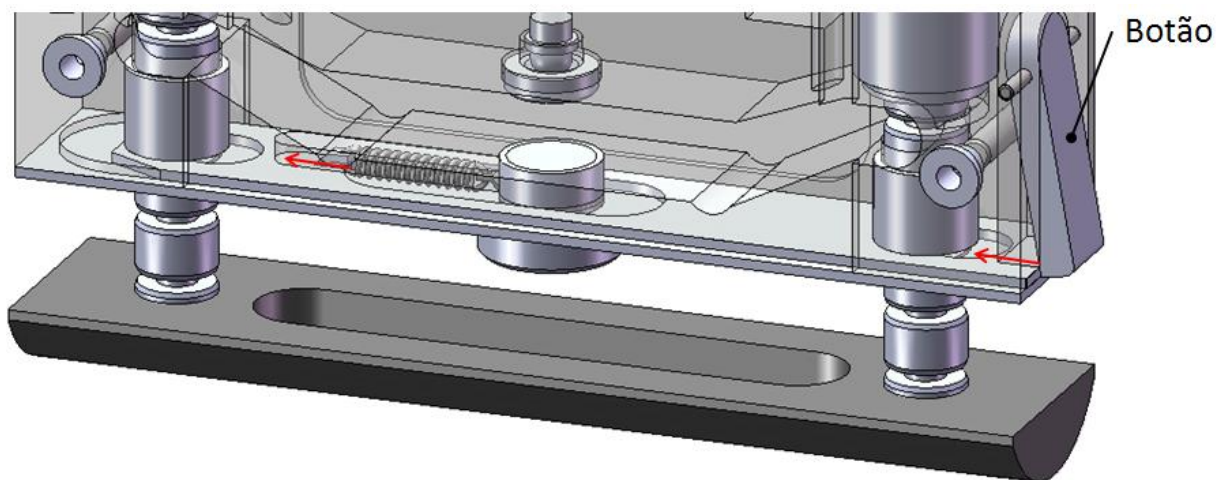


Figura 4.17 – Sistema de extensão da pega inferior.

Como se pode ver na figura 4.17, ao premir o botão, a força a este transmitida, contraria a força da mola, fazendo transladar a guilhotina por entre o corpo e a tampa da guilhotina. Isto permitirá que as colunas extensíveis possam correr, guiadas pelos casquilhos, e variar, desta forma, a distância entre pegas, até à extensão pretendida.

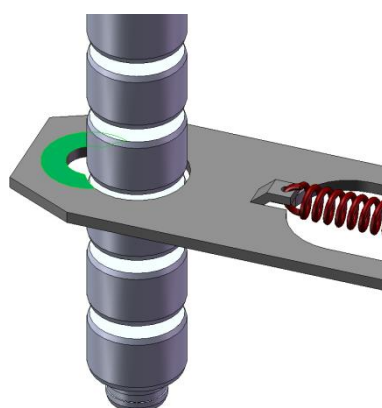


Figura 4.18 – Pormenor do sistema de extensão.

Como se pode visualizar na figura 4.18, a guilhotina tem um furo com dois diâmetros distintos. Um mais largo por onde a coluna extensível pode correr e outro, mais pequeno, onde a coluna assenta na sua posição de bloqueio (representado a verde na figura).

De notar que os espaçamentos, entre posições de encravamento da coluna extensível, distam 6,35 mm, o que equivale a metade do incremento da medida Jamar.

Tendo em conta que a altura total do dispositivo, com a pega recolhida é de 47,5 mm e que as colunas possuem 4 rebaixos para além da posição de repouso, podemos dizer que as posições disponíveis no dispositivo serão as apresentadas na seguinte tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Valores da distância entre pegas para o dispositivo projectado.

Posição	Jamar	Distância entre pegas (mm)
0	2	47,5
1		53,9
2	3	60,2
3		66,6
4	4	72,9

Com o sentido de impossibilitar que a pega fixa possa sair fora do aparelho, foi necessário aplicar-lhe dois limitadores de curso. Na figura 4.19 apresenta-se esse sistema, que não só limita o movimento, como também aplica uma pretensão ao mecanismo de modo a que não haja folgas e o instrumento de medição seja mais fiável (aconselhado pelo fabricante do sensor). A tensão é dada pela mola que está entre o batente e a cavilha.

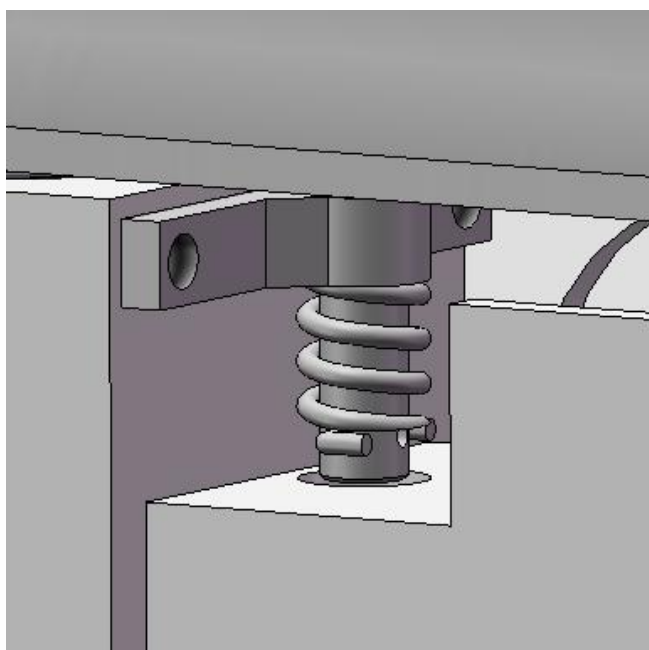


Figura 4.19 - Pormenor do batente da pega superior.

4.4 Dimensionamento de componentes

Durante o estudo das diferentes soluções construtivas, existe a necessidade de validação das diferentes soluções quanto a questões de resistência mecânica, assim como à análise da interactividade entre os diferentes componentes para verificar, por exemplo, se a deformação de determinados componentes vai introduzir atritos ou conflitos indesejados no sistema. Portanto, de forma iterativa, realizam-se estudos/simulações para obter as tensões e deformações de diferentes soluções para peças ou conjuntos. Através dos resultados obtidos, verifica-se a coerência de determinada solução construtiva e procede-se ao seu refinamento, com o intuito de se realizar uma peça ou mecanismo que cumpra ao mesmo tempo os requisitos: do princípio proposto, que tenha o menor volume e consequente peso, que seja construído no material com a melhor relação qualidade/preço, que o seu processo de produção seja o mais simples possível e que resista mecanicamente aos esforços envolvidos.

Tendo em conta estes factores, apresentaremos ao longo deste ponto, parte desses estudos que achamos mais relevantes para a compreensão e validação deste projecto. Tal como já foi dito o software utilizado foi o COSMOSWorks 2007, presente no Soliworks Office Premium 2007. Este programa, baseia-se no método dos elementos finitos que é uma técnica numérica amplamente usada para análise de projectos de engenharia, devido à sua generalidade e aptidão para ser implementado em computador.

São apresentados, de seguida, alguns desses estudos considerados mais relevantes, como sendo o corpo, as alavancas e as pegas. Os restantes, podem ser consultados no anexo A.

4.4.1 Corpo

O corpo representado na figura 4.20 é o componente que alberga grande parte do dispositivo e que serve de estrutura para o mesmo. As premissas a partir das quais se concebeu este componente eram bastante restritivas, pelo que o processo iterativo foi bastante moroso.

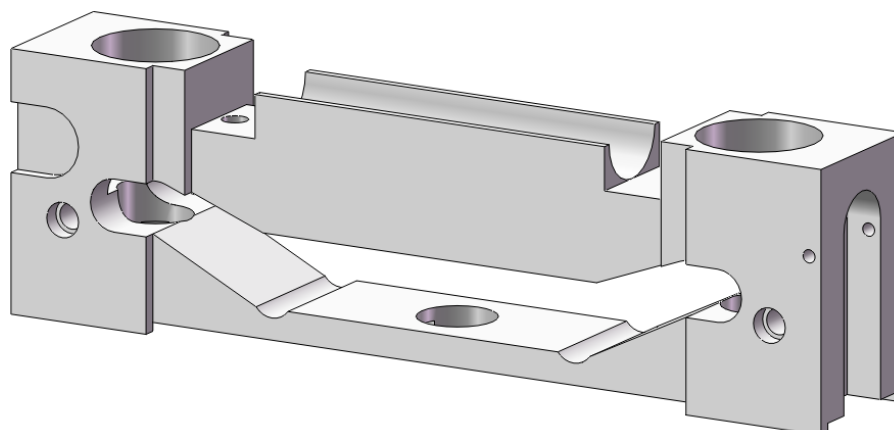


Figura 4.20 – Corpo do dispositivo.

Na figura 4.21 apresenta-se um estudo das cargas aplicadas ao corpo do dispositivo, simulando a sua utilização. Optou-se por analisar o corpo isolado, o que não correspondendo inteiramente à realidade, nos coloca do lado da segurança uma vez que o conjunto iria aplicar restrições à deformação do corpo.

As forças aplicadas no modelo simulam as forças de prensão sobre o mecanismo de alavancas e a pega extensível que descarregará a força directamente no corpo. As setas a lilás representam forças e as setas verdes representam restrições.

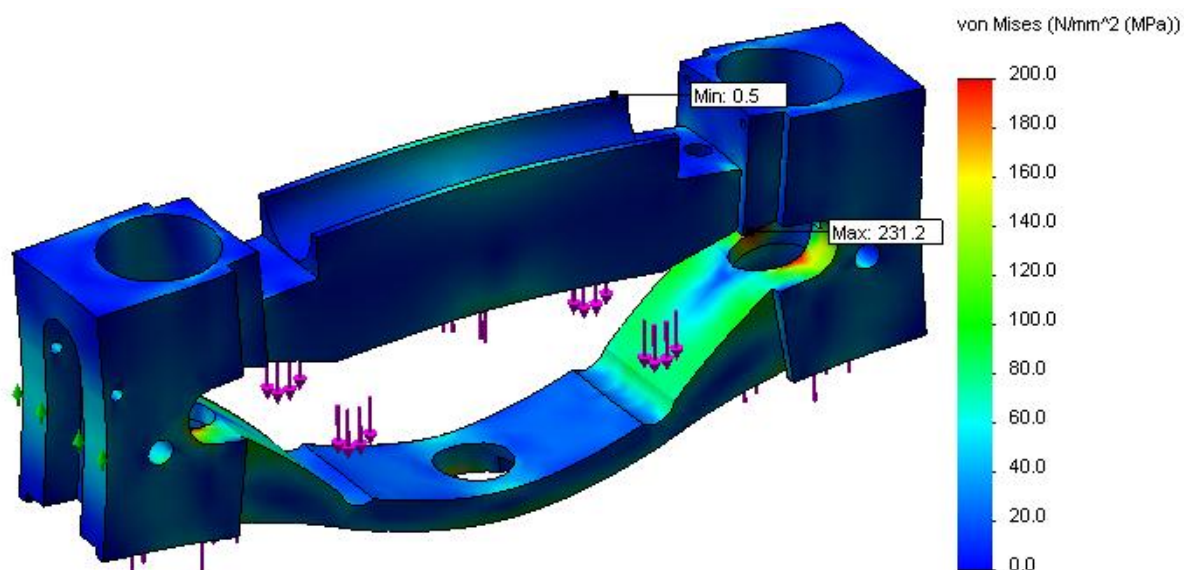


Figura 4.21 – Distribuição das tensões no corpo.

O corpo foi projectado para ser construído em liga de alumínio 7075-T6. Sendo esta um alumínio de alta resistência, tem uma tensão de cedência igual a 500 N/mm^2 . Foi escolhida esta liga de alumínio, pelo facto de ter uma tensão de cedência equivalente à de um aço e uma massa específica três vezes menor. Como seria de esperar, para uma peça que foi calculada para apresentar deformações de muito baixo valor, as tensões instaladas são pouco significativas à excepção das duas extremidades do rasgo que têm um valor de 231 N/mm^2

De notar que o corpo foi concebido de maneira a ser uma peça “fechada”, Introduzindo alguma complexidade no processo de fabrico, mas que lhe confere maior resistência mecânica e rigidez. O aumento da altura na ponte superior (figura 4.21), criando um alojamento para a bateria, teve como objectivo, aumentar a rigidez da estrutura por forma a evitar uma rotação excessiva relativa entre os dois furos de guiamento, isto para que as colunas exteriores possam correr isentas de atritos sobre os casquilhos sem que haja dissipação da força prensora.

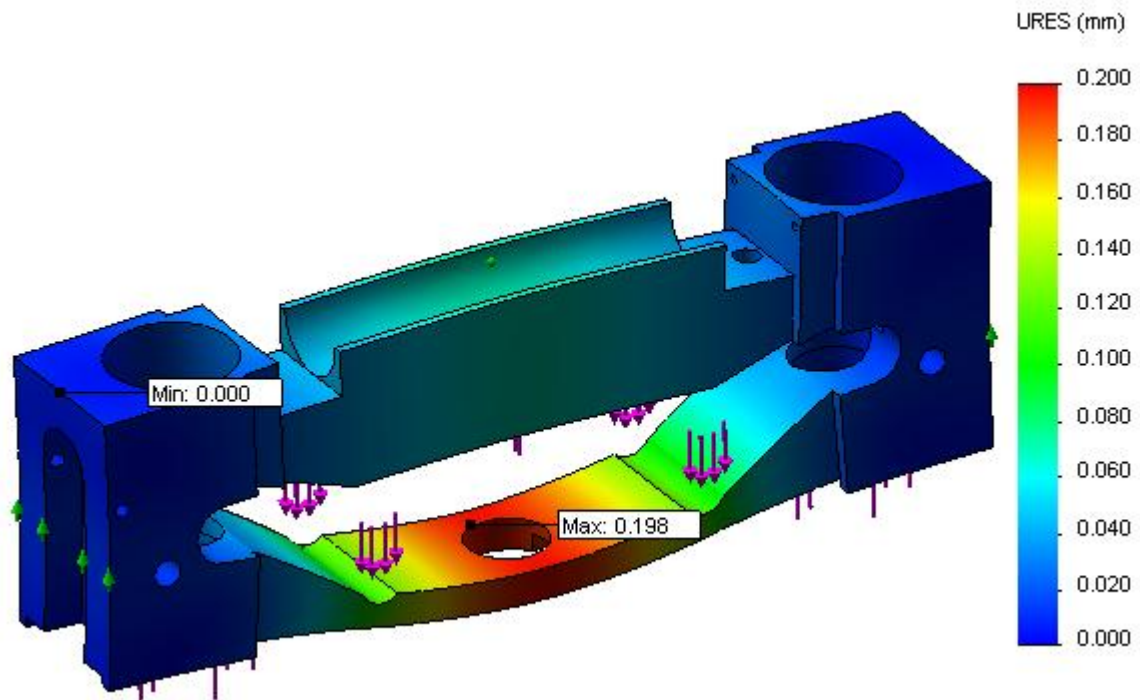


Figura 4.22 – Distribuição das deformações no (factor de escala de 50)

No que diz respeito à distribuição das deformações (figura 4.22), o corpo apresenta um valor máximo na zona de aperto do parafuso que segura a tampa da guilhotina. Este estudo vem dar razão ao que foi dito sobre o facto de se querer manter os eixos de guiamento paralelos, pelo que a deformação na ponte superior que os une é na ordem dos centésimos de milímetro.

4.4.2 Alavancas

As alavancas são responsáveis pelo carregamento do sensor, pelo que têm características particulares. Foram concebidas para que a transmissão da força ao elemento sensor não seja afectada por dissipações nos pontos de contacto com os restantes componentes, o que originaria uma perda de informação.

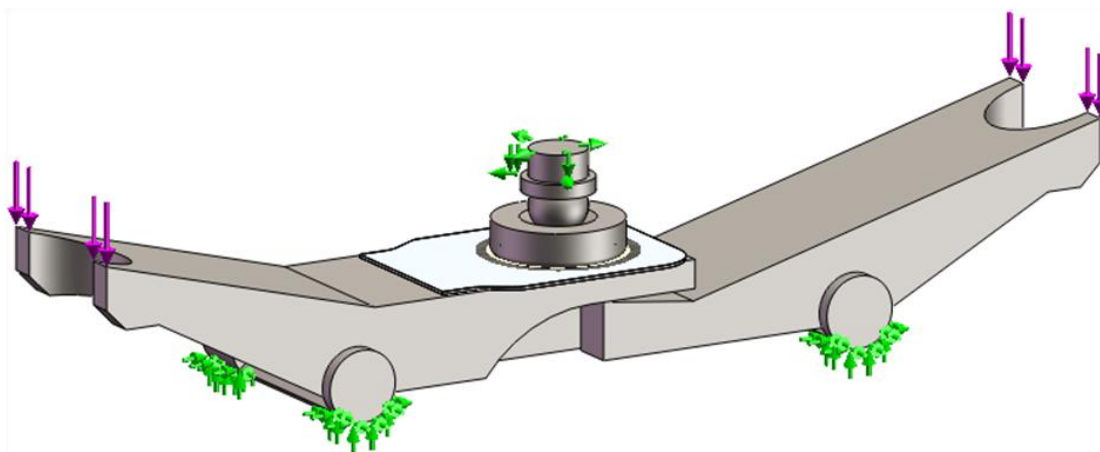


Figura 4.23 – Conjunto das alavancas e elemento sensor.

Na figura 4.23 pode ser visto o modo de funcionamento das alavancas, onde estão aplicadas as forças e restrições que simulam a interacção com os restantes componentes do dispositivo.

As alavancas serão maquinadas a partir de um aço cromo-níquel (DIN14NiCr14), com uma tensão de cedência de 620 N/mm^2 sendo posteriormente temperadas, de maneira a aumentar a sua dureza superficial.

Alavanca Superior

Nesta simulação (figura 4.24), à extremidade da alavanca, foi aplicada uma força de 80 kgf. Atendendo à forma como o aparelho será utilizado, jamais a força total (100 kgf) poderá ser aplicada somente numa das extremidades (tendo sido utilizada uma distribuição 80 – 20, como a situação mais gravosa).

Quanto às restrições aplicadas, somente foi permitido o movimento de rotação sobre a aresta do entalhe. Na zona onde assenta o sensor, o movimento foi restringido verticalmente numa área equivalente à de contacto com a “cassete” inferior.

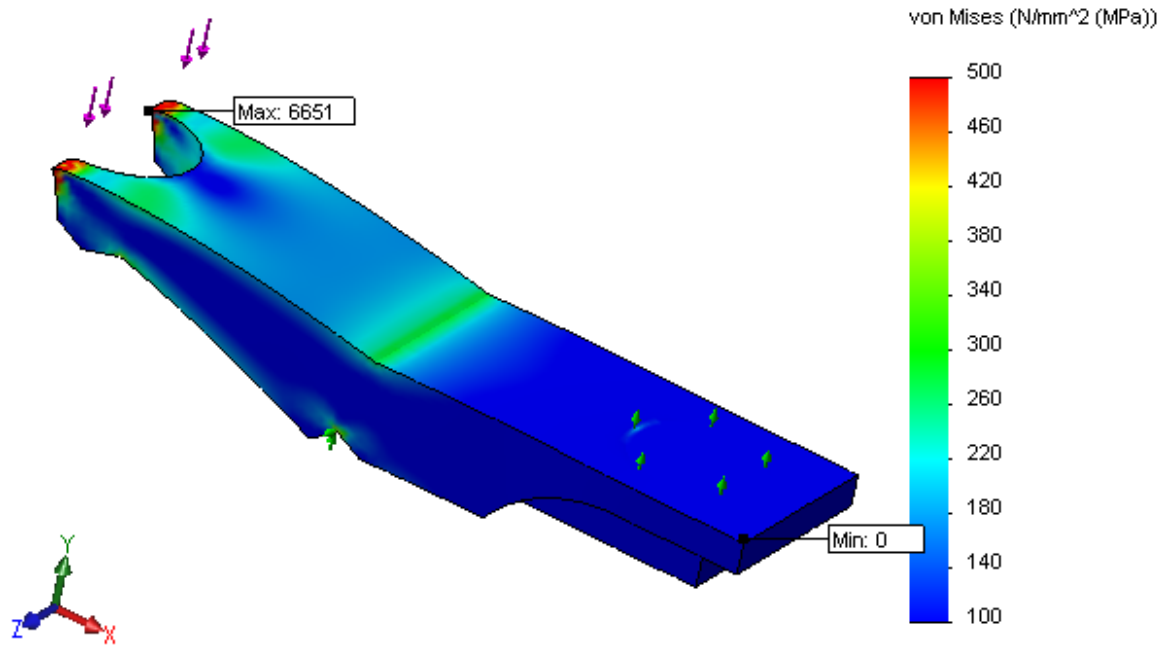


Figura 4.24 – Distribuição das tensões na Alavanca Superior.

Da análise da figura 4.24 constata-se a existência de tensões concentradas, sobre a aresta resultante das duas superfícies superiores da alavanca, tendo estas um valor de 300 N/mm^2 . A tensão máxima que ocorre sobre a aresta de contacto com as colunas exteriores, deve-se exclusivamente ao facto desta geometria ter sido considerada ideal no presente estudo. Na prática, esta tensão de 6651 MPa, não ocorrerá. Na construção da peça, será considerado um raio mínimo de boleado para esta aresta, que conjuntamente com algum encalcamento que se verifique na face de contacto das colunas exteriores, redistribuirá estas tensões. Este facto, porventura será vantajoso, uma vez o encruamento do material, aumentará localmente a sua dureza.

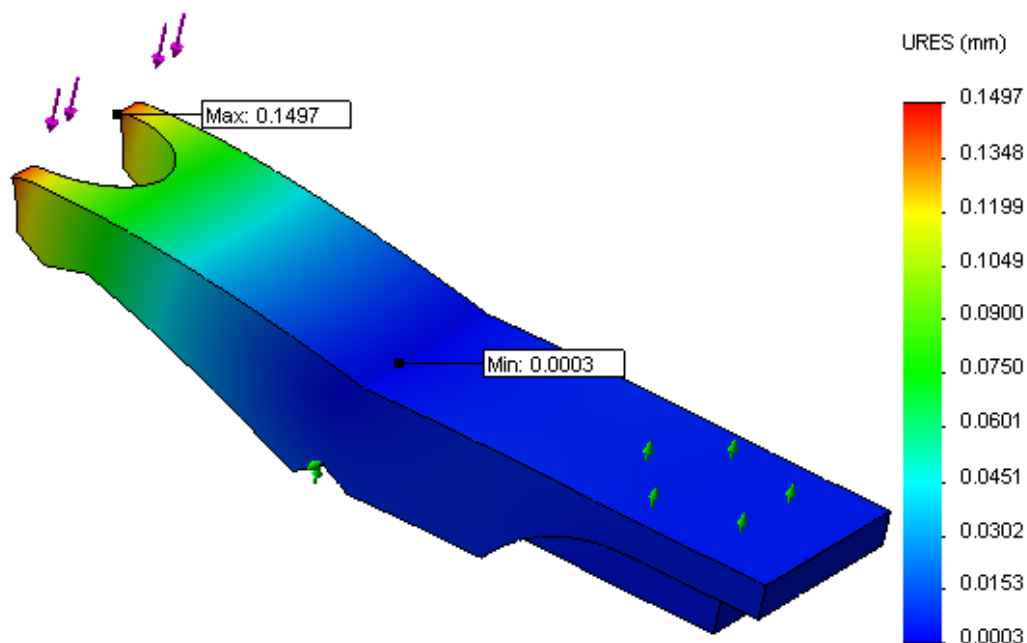


Figura 4.25 – Distribuição dos deslocamentos na alavanca superior (factor de escala de 25)

Outra preocupação com esta peça reside no facto da superfície superior ser a área de contacto com o sensor, pelo que deve ser plana e eventualmente polida. Ao nível de deformações verifica-se que nesta zona, elas são irrelevantes (figura 4.25).

Alavanca de baixo

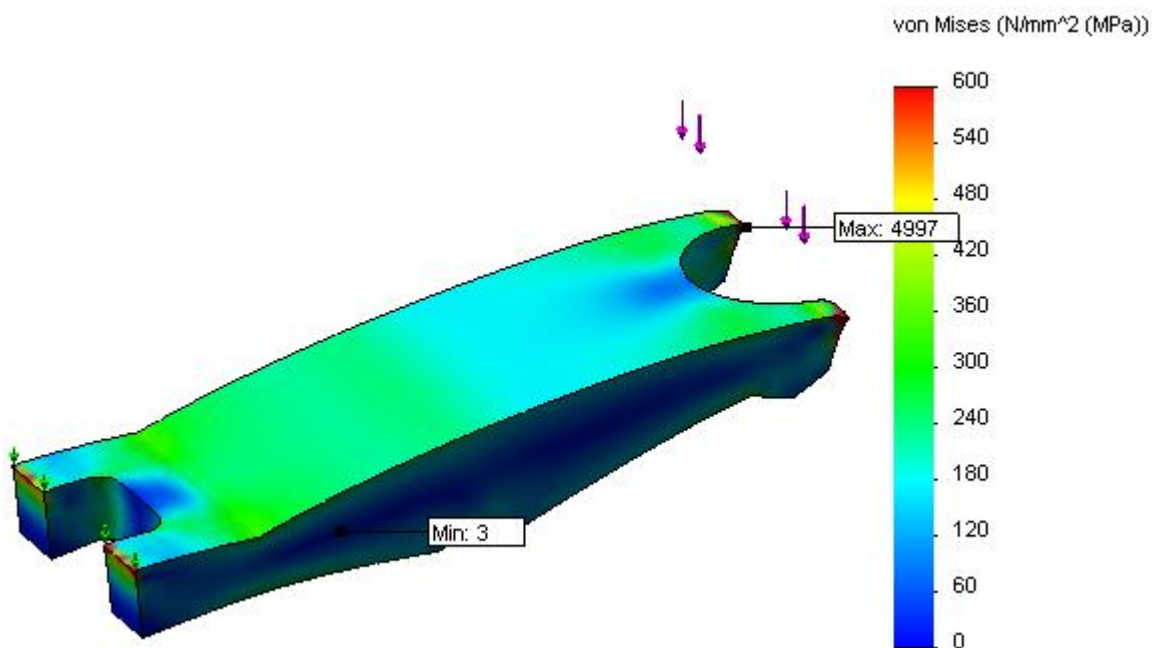


Figura 4.26 – Distribuição das tensões na alavanca inferior.

Esta é uma peça que partilha, com a anterior, as mesmas características. Nesta primeira análise às tensões (figura 4.26) pode afirmar-se, que, tal como na peça anterior, nas

zonas em que o contacto é feito sobre uma aresta ocorre a mesma situação de tensão máxima. A tensão que efectivamente é mais desfavorável, acontecerá na aresta intermédia da face superior, tal como na peça anterior, e terá o valor de 350 N/mm^2 .

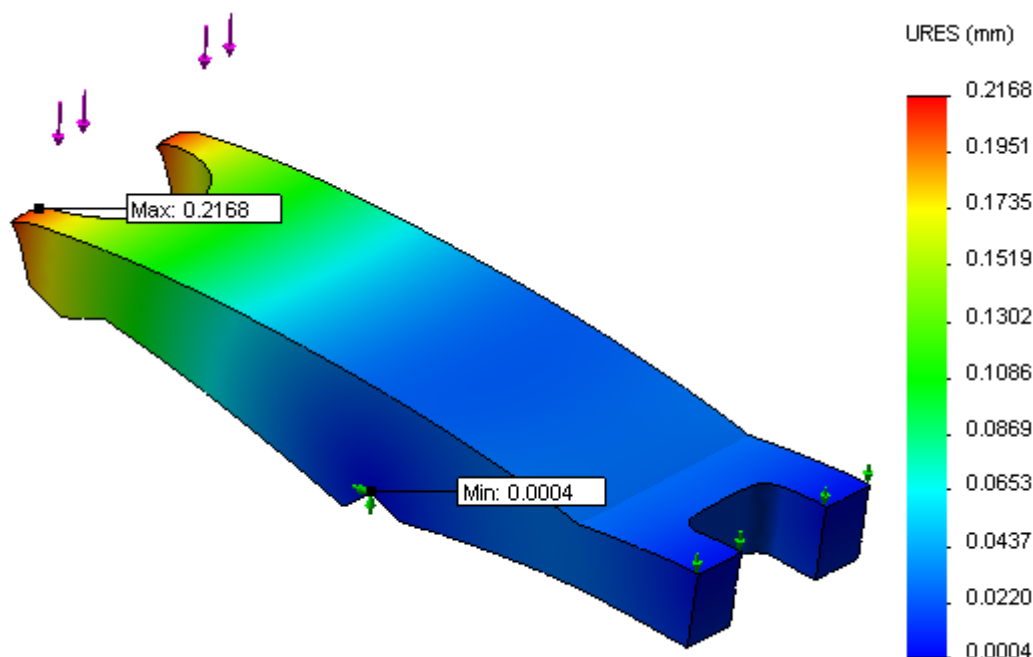


Figura 4.27 – Distribuição dos deslocamentos na alavanca inferior (factor de escala de 25)

Ambas as alavancas (figura 4.25 e figura 4.27) deverão apresentar valores de deformação muito reduzidos nas extremidades que contactam com as colunas exteriores. Por um lado, deverão apresentar valores da mesma ordem de grandeza (rigidez semelhante) e por outro, o facto da distribuição de carga poder ser diferente (anteriormente considerámos uma distribuição 80/20) levaria à existência de deformações significativas, o que acarretaria um afundamento desigual das colunas, com consequente rotação da pega, originando cargas transversais sobre os guiamentos. Fica assim em aberto a possibilidade de alojar um elemento elástico, no topo de alojamento das colunas exteriores nos furos da pega, por forma a criar uma rótula.

4.4.3 Pegas

Pega Fixa

Vamos agora estudar em mais pormenor a pega superior. De modo a obter resultados mais coerentes a pega superior foi testada conjuntamente com as colunas exteriores de ataque às alavancas. Este estudo foi importante na medida em que o protótipo anterior revelou a necessidade de um melhor guiamento da pega fixa de forma a evitar perda de informação.

O estudo foi feito aplicando uma carga distribuída de 100 kgf na pega fixa, estando esta restringida apenas de se mover verticalmente segundo yy. Esta restrição foi aplicada sobre as arestas de contacto das colunas exteriores com as alavancas. Foram aplicadas apenas estas restrições, devido ao facto de se querer estudar a deformação deste conjunto face à deformação do corpo (figura 4.22). Isto, porque se pretende que as tensões derivadas do contacto entre estes dois conjuntos sejam mínimas, não dando origem a atritos.

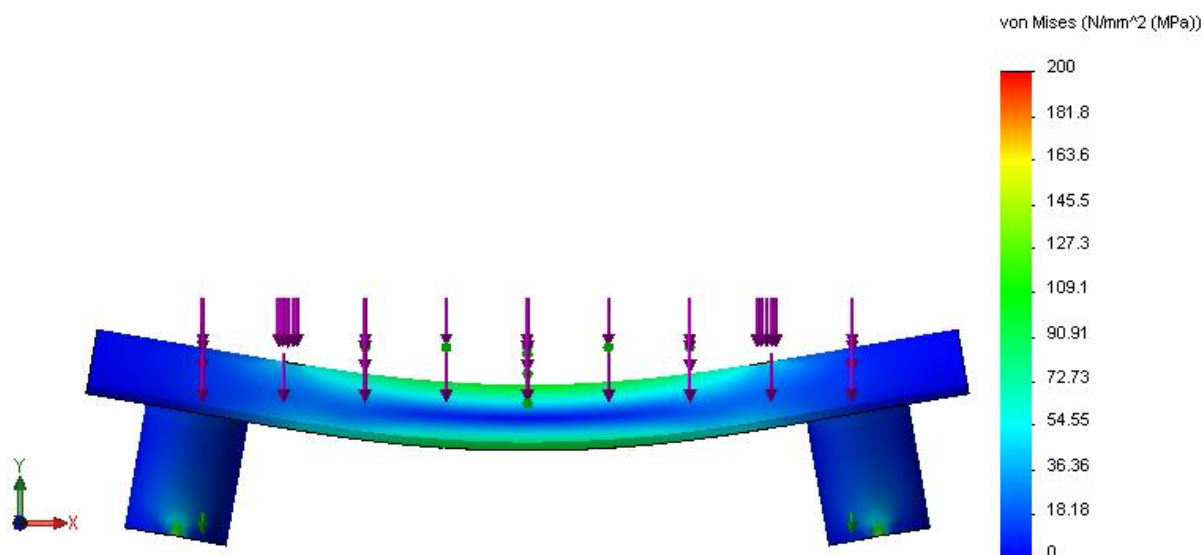


Figura 4.28 – Distribuição de tensões no conjunto pega superior.

A pega foi projectada para ser realizada em aço Inox (DIN 1.4305), não só pelo facto de estar em contacto com a mão (podendo oxidar), mas também porque desejamos deformações de valor reduzido. Da análise da figura 4.28, constata-se que a pega apresenta uma tensão máxima na zona central que ronda os 100 N/mm^2 , bastante abaixo da tensão de limite elástico que é de 415 N/mm^2 .

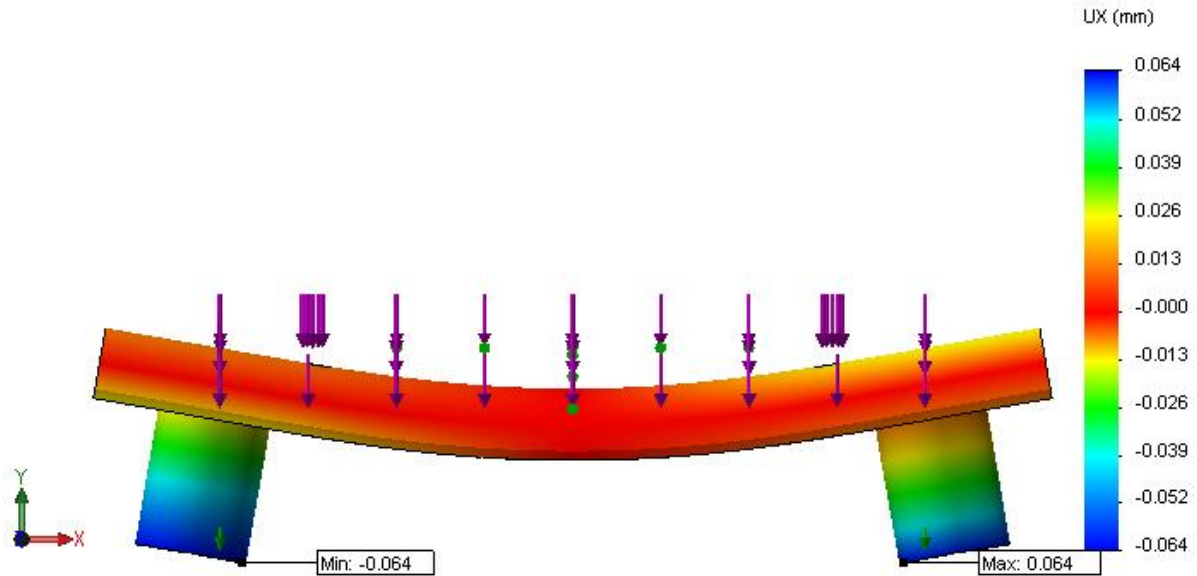


Figura 4.29 – Distribuição de deslocamentos segundo xx na pega fixa (factor de escala igual a 50)

O valor apresentado para o deslocamento máximo (0,064 mm) de cada uma das colunas (figura 4.29), encontra-se um pouco acima do valor de tolerância do casquilho. Pelo que faz sentido ressaltar a ideia de colocar um elemento elástico no topo das colunas (ponto 4.4.2), que, comportando-se como uma rótula, será capaz de absorver a rotação derivada da flexão da pega.

Pega Extensível

A pega extensível tem a particularidade de poder ajustar a sua posição conforme o tamanho da mão do utilizador, podendo ser aumentada ou diminuída a distância entre pegas. Para isso, foram praticados entalhes ao longo da coluna, que se vão revelar como sendo a zona crítica deste conjunto.

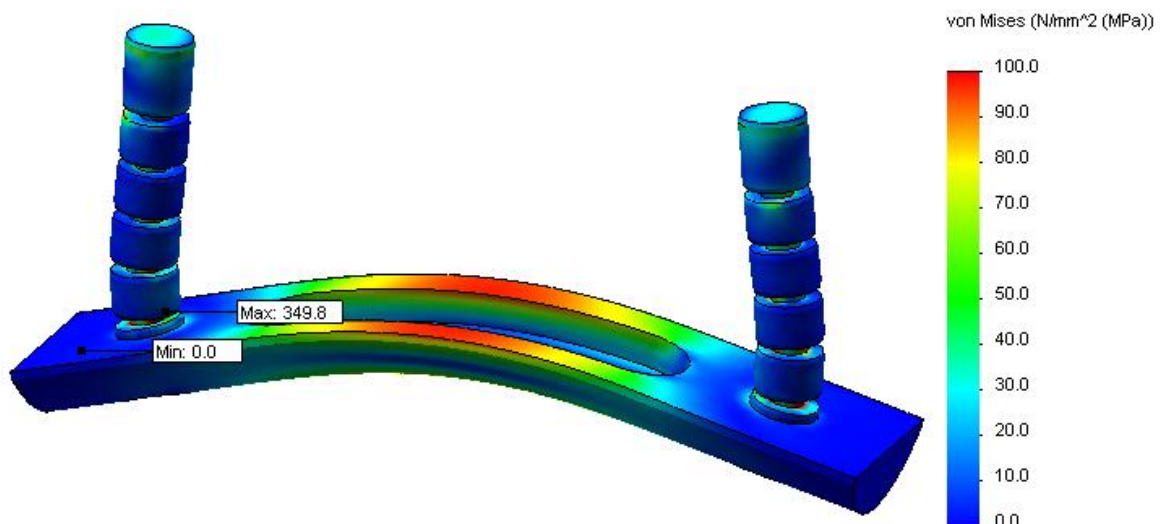


Figura 4.30 – Distribuição das tensões no conjunto pega extensível.

Da análise da distribuição das tensões representadas nas figura 4.30Figura 4.31, pode observar-se que a tensão máxima ocorre no último entalhe da coluna extensível imediatamente antes da pega e toma o valor de 350 N/mm^2 . Tendo em conta que estas colunas vão ser realizadas a partir de um aço cromo-níquel (DIN14NiCr14) com uma tensão de cedência de 620 N/mm^2 , está garantido que a peça resiste mecanicamente às forças aplicadas.

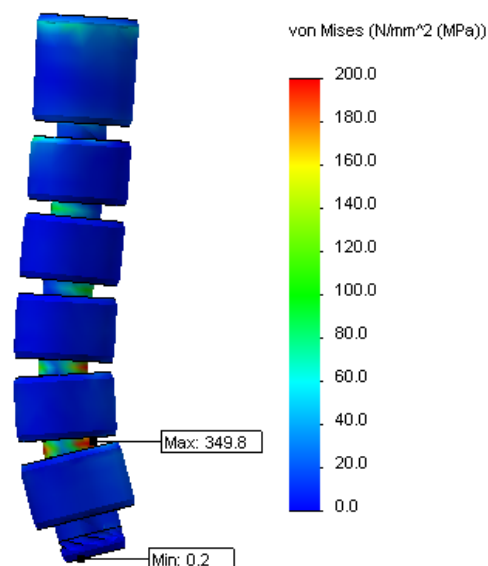


Figura 4.31 Distribuição das tensões na coluna extensível.

Relativamente à pega extensível, esta será realizada em aço inoxidável, e apresentando uma tensão máxima a rondar os 100 N/mm^2 bastante abaixo da tensão de cedência do aço que é de 415 N/mm^2 .

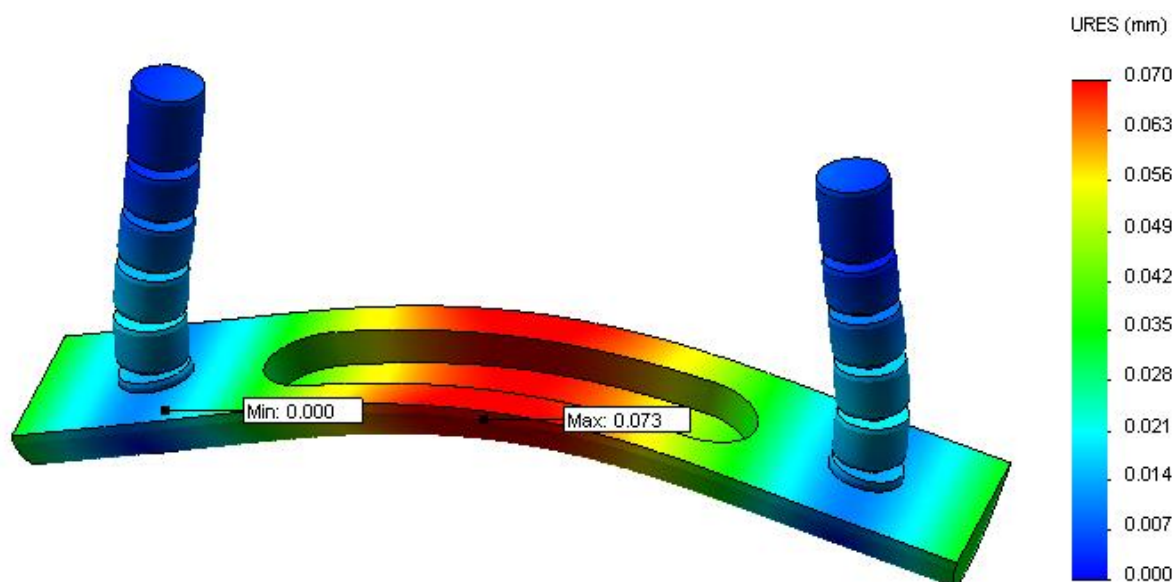


Figura 4.32 Distribuição dos deslocamentos na pega extensível (factor de escala igual a 100).

Da análise dos deslocamentos apresentados na figura 4.32, constata-se que a pega apresenta um deslocamento máximo de 7 centésimos de milímetro na sua zona central.

4.4.4 Conjunto

Tendo por finalidade dar uma ideia do comportamento estrutural do aparelho, foi realizada uma simulação ao conjunto. Neste não foi incluído o sistema de alavancas e o sistema de ataque ao sensor, devido a limitações do software utilizado, pelo que não foi possível conjugar todos os componentes na simulação. Esta análise permite avaliar, com muita aproximação o comportamento da estrutura do aparelho, uma vez que o sistema de alavancas foi substituído por forças que simulam a sua existência. De referir que a simulação foi feita para uma situação limite, isto é, o dispositivo foi projectado para efectuar medições até 100 kgf, pelo que as pegas foram ambas carregadas com uma carga distribuída correspondente.

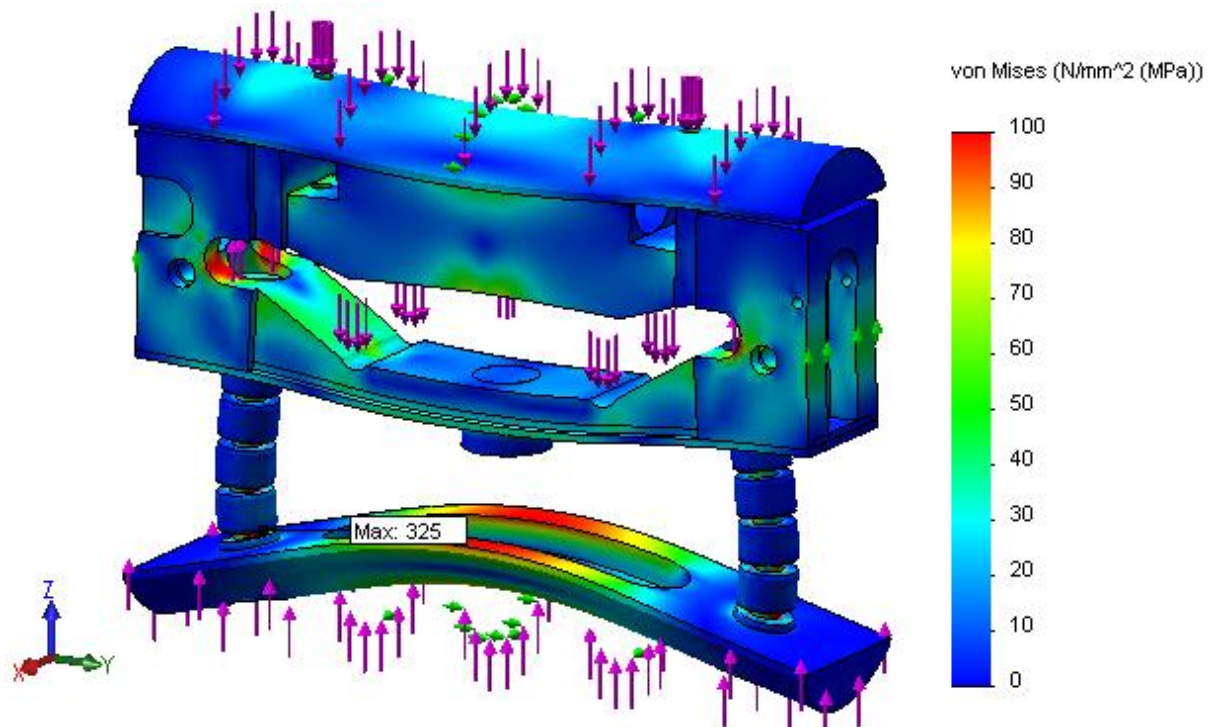


Figura 4.33 – Distribuição das tensões no conjunto.

Da análise da distribuição de tensões no conjunto, pode dizer-se que, tendo em conta a interacção dos diferentes componentes, as tensões apresentadas no conjunto, são menores que as apresentadas nos estudos das peças isoladas. Apesar disso, não deixam de ser semelhantes aos estudos anteriormente apresentados, pelo que, torna coerentes esses mesmos estudos.

4.5 Conclusão

Esta etapa do projecto revelou-se bastante difícil. O facto de se querer diminuir o volume do dispositivo e ao mesmo tempo implementar um novo sistema de transmissão de força, exigiu a discussão de pormenores levados ao centésimo de milímetro. Mesmo assim, conseguiu-se chegar a uma solução que conjuga todos os objectivos propostos, e na qual se destaca o novo sistema de alavancas, que permitirá uma leitura mais fidedigna do valor da força preensora da mão aplicada ao aparelho.

5 . Projecto Electrónico e Programação

5.1 Introdução

O aparelho projectado pode ser decomposto em duas partes distintas, a mecânica, sobre a qual se incidiu no anterior capítulo, e a electrónica. A electrónica engloba todos os componentes, desde o elemento sensor e respectivo condicionamento de sinal, passando pelo microcontrolador responsável pelo processamento de dados até ao *display* electrónico que possibilita a comunicação com o utilizador.

Este capítulo começa, no seu primeiro ponto, por fazer uma alusão ao anterior protótipo, a partir do qual podemos definir os pontos que necessitam ser melhorados. Depois, após definir os objectivos, é apresentado o circuito eléctrico desenvolvido e os componentes que o compõem, tendo especial atenção para com o microcontrolador, elemento fundamental no circuito. De referir que foi também incluída neste capítulo a programação do microcontrolador.

5.2 Circuito electrónico implementado no anterior protótipo

O circuito eléctrico implementado no anterior protótipo tem como fonte de alimentação uma bateria de 3,7 V com 550 mAh. Tendo em conta que o LCD e o microcontrolador necessitam de 5 V para o seu funcionamento, foram implementados uma bomba de carga e um regulador de tensão. A bomba duplica a tensão da bateria e o regulador converte esse valor em 5 V regulados. No que diz respeito ao condicionamento do sinal vindo do sensor, foi utilizado um amplificador operacional de maneira a obter uma variação de tensão entre o 0 e 5 V (variação de acordo com a força aplicada ao sensor, de 0 a 100kgf) que são lidos pelo microcontrolador (entrada analógica do microcontrolador: 0 a 5 V). O amplificador utiliza uma montagem inversora o que implica uma alimentação positiva de 9 V e negativa de -9 V, pelo que se recorre a um conversor de tensão. De referir, também, que para além da alimentação bipolar (+/- 9 V), a tensão de entrada do sistema de condicionamento de sinal, é -5 V, pelo que, este sinal é conseguido através de um amplificador com uma montagem inversora simples.

Uma característica interessante deste circuito, é o facto de o aparelho ter duas escalas de medição, isto é, de maneira a aumentar a sua sensibilidade na gama de força mais baixa, optou-se por dividir a escala de medição do sensor em duas fases, dos 0 aos 16 kgf e dos 16 aos 100 kgf. Portanto, através de um *switch* comandado pelo microcontrolador é possível

alterar o ganho do amplificador, comutando a resistência R_f entre os dois valores que melhor se ajustam a cada uma das escalas (ver figura 3.2). Esta característica é importante na medida em que, permite ler valores mais baixos de força com uma boa precisão, dando a possibilidade a pessoas com capacidade reduzida de realizar o teste de preensão. Por outro lado, permite também que se possa fazer o teste de força aos dedos, (*pinching force*) que é na ordem dos 7 kgf [9].

A figura 5.1, apresenta o circuito eléctrico implementado, modelado no programa Eagle 4.16.

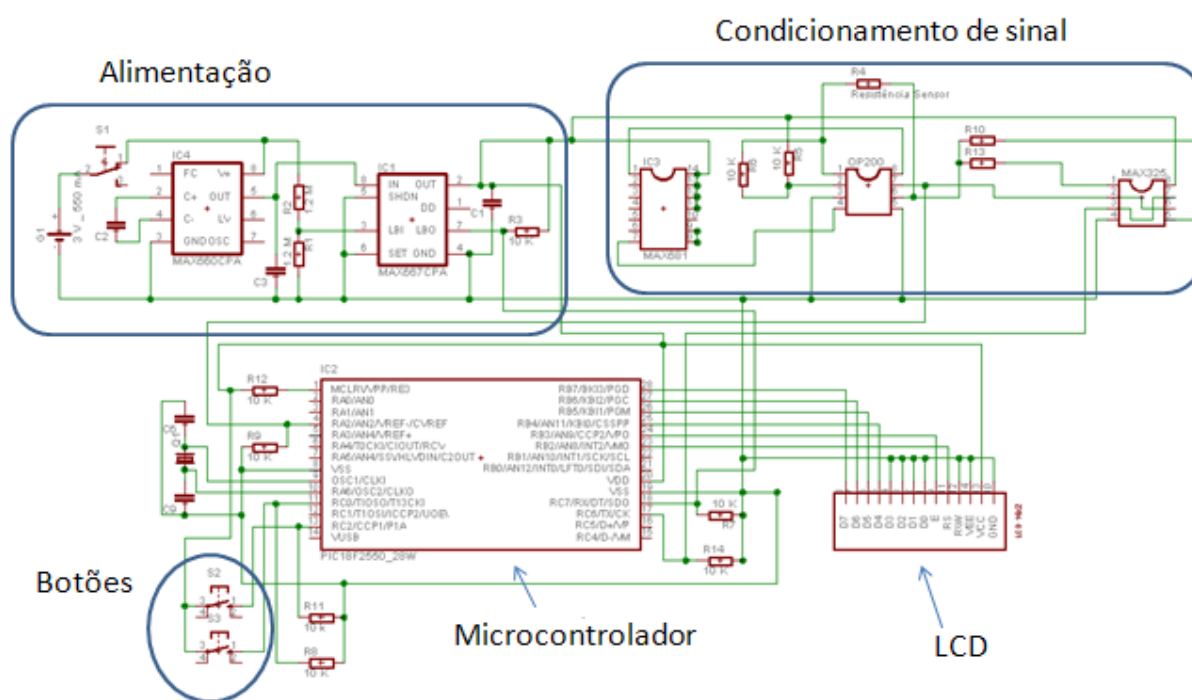


Figura 5.1 – Circuito eléctrico implementado no protótipo anterior

Componentes:

- PIC18LF2550 - Microcontrolador.
- MTB-S000115RYHS - LCD 16x2.
- MAX660 - Bomba de carga.
- MAX667 - Regulador.
- OP200 - Dois amplificadores.
- MAX681 - Conversor de tensão.
- MAX325 - Switch electrónico.

Este circuito, permite-nos não só visualizar o esquema de ligações, mas também ter uma ideia do número de componentes utilizados e, consequentemente fazer uma estimativa do espaço requerido para realizar a placa de circuito.

O consumo energético deste protótipo, ronda os 40 mAh.

5.2.1 Críticas e objectivos

Tendo em conta o circuito apresentado, pode tecer-se algumas críticas, citar vantagens e desvantagens do circuito, e enumerar alguns dos aspectos a modificar no contexto deste novo projecto.

Assim, os pontos a abordar nesta fase do projecto são:

- Reduzir consumo energético - o dispositivo anterior apresenta um consumo na ordem dos 40 mAh, pelo que se pretende reduzir esse valor, através da alteração do circuito e seus componentes, optando por soluções mais eficientes;
- Amplificador com montagem não inversora - aplicar uma montagem não inversora ao amplificador operacional, uma vez que se elimina o conversor de tensão;
- Aplicar um *switch* à alimentação - o protótipo existente liga-se através de um botão biestável, que liga o circuito directamente à alimentação. Isto tem como vantagem o facto de a bateria estar completamente independente do resto do circuito, implicando um consumo nulo quando desligado. Por outro lado, só é possível desligar o dispositivo se o botão biestável voltar à sua posição de repouso, eliminando a hipótese de o aparelho se desligar automaticamente. A fim de ser possível o desligar automático do dispositivo, pretende-se implementar um *switch* à alimentação, que funcionará como um relé, comandado pelo microcontrolador;
- Carregador de bateria - pretende-se desenvolver um carregador de bateria, que seja parte integrante do dispositivo, e com uma interface universal, como por exemplo USB;
- Reduzir volume - tendo em conta que o novo dispositivo tem menores dimensões e se implementa um sistema mecânico de transmissão da força, o espaço disponível será mais reduzido. Portanto, os novos componentes escolhidos devem ter dimensões compatíveis com os restantes elementos.

5.3 Implementação do novo circuito

Face ao que foi dito, neste ponto é apresentada uma nova solução para o circuito eléctrico. Será feita uma breve alusão ao novo tipo de tecnologia que será aplicada a estes novos componentes, e que permite uma melhor eficiência electrónica. Depois, apresentam-se os novos componentes a implementar, sendo feita uma breve descrição de cada um deles, e realizando-se a sua inclusão no restante circuito. Finalmente, será apresentado o circuito final e respectiva placa de circuito impresso onde serão montados, os novos componentes.

5.3.1 Novas tecnologias aplicadas à electrónica

No novo circuito foram implementados uma série de novos componentes, que pela sua tecnologia, permitiram uma melhoria geral (consumo, espaço utilizado, etc.) do circuito implementado.

A tecnologia CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*, i.e., semiconductor metal-óxido complementar) é usada em quase todos os componentes como *design*/processo de fabricação dos seus circuitos internos. Característica que permite protecção contra ruído, baixíssimo consumo e consequente redução da dissipação de calor. Este *design*, tem como característica principal, o facto de ambos os transístores, tipo-N e tipo-P realizarem funções lógicas, o que associado a uma diferente disposição dos operadores lógicos do circuito interno, se reflecte num funcionamento mais eficiente.

Outra característica a salientar, é o facto de o amplificador operacional a implementar, integrar a tecnologia *rail-to-rail*. Isto traduz-se no facto de apenas precisar de alimentação unipolar (0-5 V em vez de +/- 5 V), utilizando uma montagem não inversora. Esta tecnologia tem também a vantagem de obter um ganho no amplificador que o aproxima mais dos extremos da sua alimentação. Isto é, um amplificador normal com +/- 15 V de alimentação, consegue pôr na sua saída 12 a 13 V. Enquanto que, um amplificador operacional com tecnologia *rail-to-rail*, consegue pôr na sua saída um valor que pode divergir apenas 0,02 V da tensão de alimentação.

De referir também, que todos os componentes seguem a directiva Europeia - ROHS (*Restriction of Certain Hazardous Substances*, Restrição de Certas Substâncias Perigosas), que certifica os produtos que não contêm certas substâncias perigosas como o chumbo, cádmio, mercúrio, entre outros.

5.3.2 Implementação de novos componentes

Alimentação

No que diz respeito à fonte de alimentação, foi feita a troca da bateria implementada anteriormente de 550 mAh a 3,7 V por uma de 600 mAh a 3,7 V (figura 5.2). Esta troca deve-se, não só ao facto de a pilha ter uma maior capacidade de carga, mas também à sua maior disponibilidade no mercado, dado que o seu formato AAA é universal.

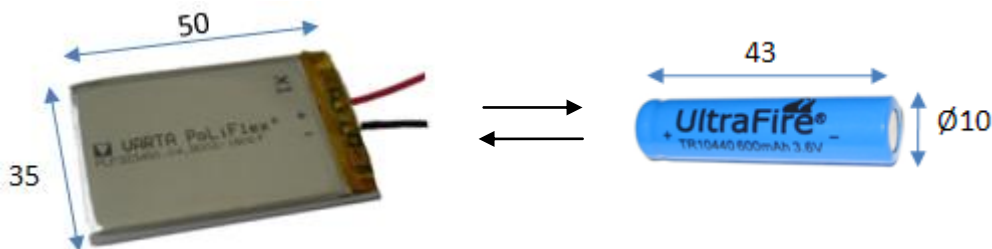


Figura 5.2 - Varta Poliflex; Ultra Fire TR10440, dimensões em mm

Quanto à bomba de carga e regulador, os dois componentes presentes no anterior protótipo foram substituídos pelo integrado MAX1686 que conjuga as duas funções, reduzindo assim o número de componentes utilizados.

Integrou-se um carregador de bateria, utilizando para tal o integrado MAX1555, que possui as seguintes características:

- Alimentação por USB - no caso presente utilizará a interface *micro-USB*, não só pelo seu tamanho reduzido, mas também, por esta ter sido tomada pelas maiores empresas europeias de telemóveis, como sendo a interface padrão para o carregamento de telemóveis;
- Controlo de temperatura - tem integrado no *chip*, um controlador de temperatura, que garante uma taxa de carregamento óptima, sem que se atinjam temperaturas que possam pôr em risco o circuito;
- LED indicador - possibilidade de aplicar um LED à saída de um dos seus terminais, que indica se a bateria está em carregamento;
- Montagem compacta - o seu tamanho é bastante reduzido e os componentes auxiliares são apenas dois condensadores, uma resistência e um LED, o que permite uma montagem compacta, como se pode verificar figura 5.3.

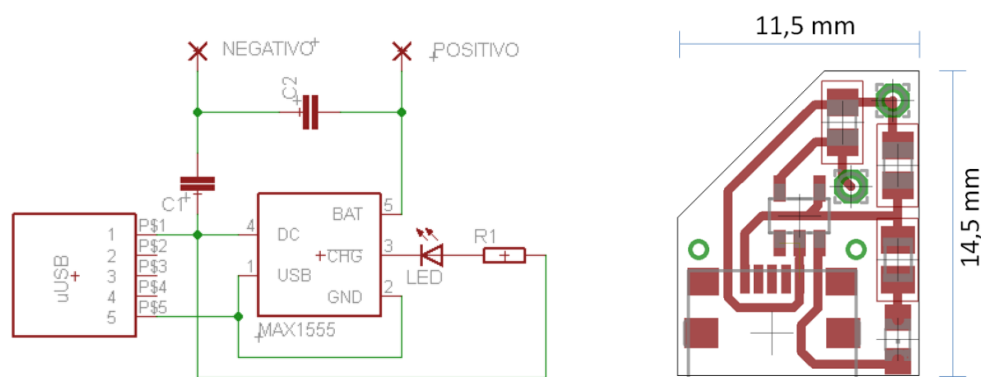


Figura 5.3 – Esquema de ligações e placa de circuito do carregador.

Apesar do seu tamanho reduzido, optou-se por fazer o carregador numa placa de circuito independente da placa principal, localizado na tampa do LCD, ao contrário do circuito principal que está disposto na tampa PCB.

Condicionamento de sinal

Tal como foi descrito anteriormente, o condicionamento de sinal baseia-se no uso de um amplificador operacional. Este aplica um ganho ao valor da tensão vinda do sensor piezoresistivo, de forma a explorar toda a gama da entrada analógica do microcontrolador. Neste projecto optou-se por aplicar uma montagem não inversora, ao contrário do que é recomendado pelo fornecedor. Isto deve-se ao facto de esta requerer um menor número de componentes e se conseguir resultados igualmente satisfatórios. De seguida são confrontadas as duas soluções.

No terceiro capítulo foram apresentadas algumas características do elemento sensor, pelo que, para melhor analisar a solução de condicionamento de sinal, recorreu-se a um estudo presente no trabalho “Sistema de pesagem para indivíduos com mobilidade diminuída” realizado em Julho de 2008 [9]. Neste, foi experimentado o sensor piezoresistivo numa maior gama de força, pelo que, a figura 5.4 apresenta os resultados.

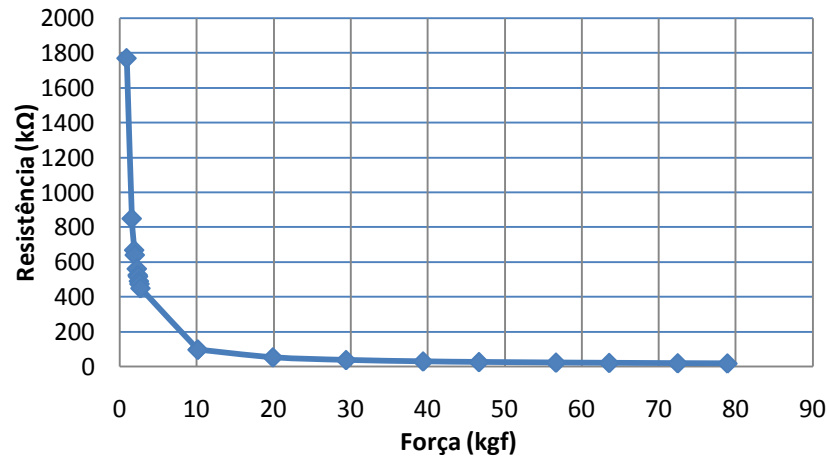


Figura 5.4 - Característica do sensor piezoresistivo *Flexiforce*.

Tendo em conta estes valores e a montagem recomendada pelo fornecedor apresentada no capítulo 3.2, a característica do sistema já devidamente condicionado é conforme a apresentada na figura 5.5.

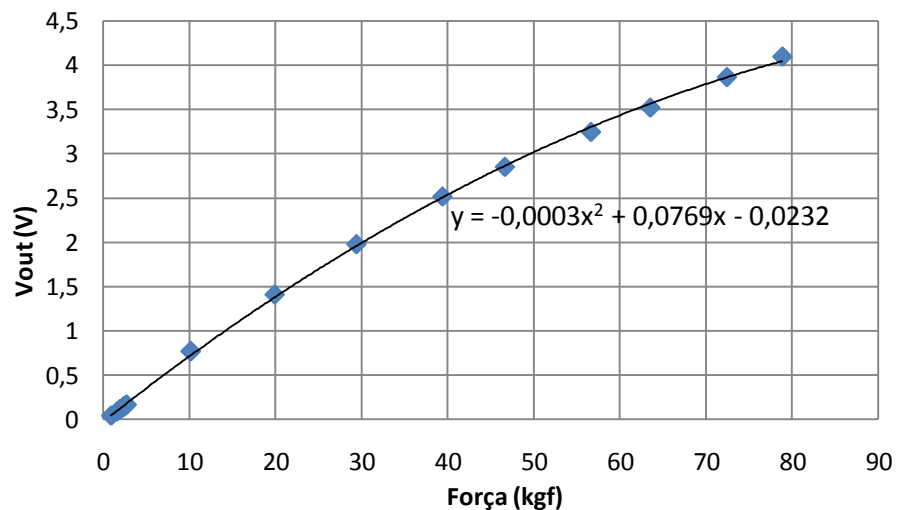
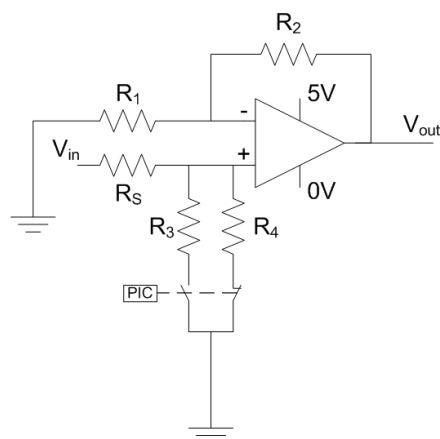


Figura 5.5 - Característica do sistema (sensor + condicionamento de sinal)

Neste gráfico, tal como era esperado, a curva apresentada é semelhante à curva de condutância apresentada no gráfico 3.1. Esta curva pode ser aproximada por meio de uma equação polinomial de segundo grau, cuja expressão se encontra na figura 5.5.

Já para o caso presente usa-se uma montagem não inversora, com duas escalas de medição. A mudança de escala é realizada pela comutação dos contactos (*switch* electrónico) aos quais estão associadas as resistências R3 e R4. A configuração utilizada é apresentada na figura 5.6.



$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_{3,4}}{R_s + R_{3,4}} \cdot V_{in}$$

$R_1 - 10 \text{ k}\Omega$
 $R_2 - 100 \text{ k}\Omega$
 $R_3 - 10 \text{ k}\Omega$ (0 a 16 kg)
 $R_4 - 1,5 \text{ k}\Omega$ (16 a 100 kg)
 R_s – Sensor piezoresistivo
 $V_{in} - 5V$

Figura 5.6 – Circuito de condicionamento de sinal.

Esta configuração foi possível dado que o amplificador MAX4464 possui tecnologia *rail-to-rail*, o que se traduz no facto de apenas precisar de alimentação positiva (5V - *single supply*). Portanto, ao substituir o amplificador OP200 pelo anterior, foi possível eliminar o conversor de tensão MAX681.

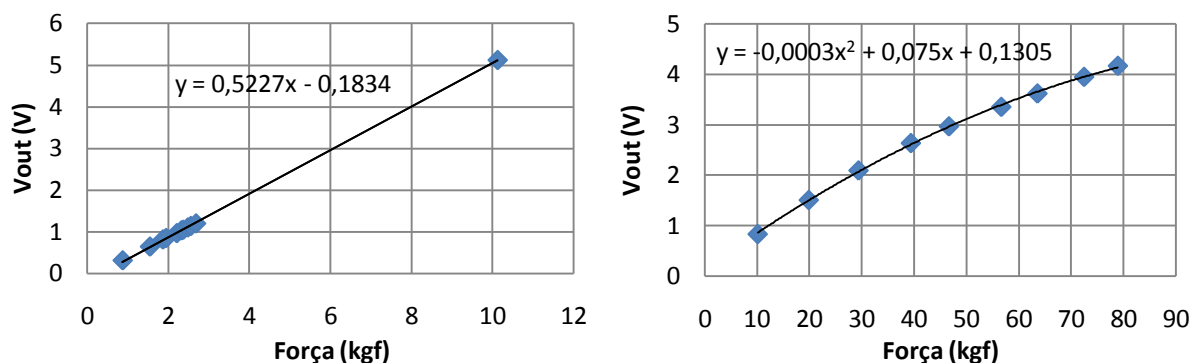


Figura 5.7 - Característica do sistema (montagem não inversora).

Na figura 5.7 podem visualizar-se os gráficos com a característica do sistema, do 0 aos 10 kgf é possível aproximar os pontos por uma recta, embora, se possa dizer que há uma falta de pontos entre os 3 e os 10 kgf, devido à falta dos meios necessários para proceder a tal medição. Já para a escala dos 10 aos 100 kgf os pontos podem ser aproximados por uma equação polinomial de segundo grau que se pode visualizar no referido gráfico. Estas equações serão posteriormente adaptadas ao sistema e introduzidas no microcontrolador.

De referir que, a característica apresentada na figura 5.7, é semelhante (sobrepõe-se) à da montagem inversora utilizada no anterior protótipo, pelo que esta última não se apresenta.

LCD

Dada a nova estrutura do dispositivo foi necessário trocar de LCD, por outro com dimensões que melhor se adaptassem à nossa solução construtiva. Em vez do MTB-S000115RYHS, optou-se pelo SD1602E que se apresenta na figura 5.8.



Figura 5.8 – LCD - SD1602E

Este é um LCD de 2x16 caracteres, com controlador incluído na placa (*chip on board*), não tem retroiluminação e a comunicação é feita através de uma fita *FFC* (*flat flexible cable*).

Dado que este LCD, tem uma tensão mínima de alimentação na ordem dos 3,7V, experimentou-se ligá-lo directamente à bateria. Esta tentativa faria sentido dado que existe também uma versão do microcontrolador utilizado (versão LF, com tecnologia *nanoWatt Technology*) capaz de funcionar entre os 2 e os 5,5V. Sendo assim, poder-se-ia eliminar a bomba de carga, elemento determinante no consumo de energia do sistema. Isto porque para elevar a tensão de entrada, a bomba eleva também o consumo de corrente. Posto isto, a supressão da bomba de carga, seria bastante vantajosa para a autonomia do dispositivo.

A experiência foi realizada, mas os resultados não foram satisfatórios, uma vez que apesar de o LCD estar a funcionar, o seu contraste varia conforme a tensão de alimentação. Tendo em conta que o contraste mínimo para uma boa visualização da informação apresentada no LCD implica no mínimo 4V na bateria e que este valor só se apresenta quando a bateria se encontra totalmente carregada, optou-se por abandonar esta solução.

Microcontrolador

O microcontrolador é um elemento fundamental na electrónica do dispositivo e constitui o “cérebro” de todo o circuito. É um pequeno integrado semelhante a um microprocessador, mas com mais algumas capacidades que o diferenciam deste. Entre outras, destacam-se o facto de possuir memória, portos de entrada e saída, conversores de sinal e periféricos dedicados.

De uma forma muito simples, o seu funcionamento baseia-se no conteúdo do código que previamente lhe foi carregado. Depois, está constantemente a correr esse código conforme a frequência que foi estipulada no respectivo registo (no caso presente selecção da frequência do oscilador interno). Através da análise do código e do estado das variáveis que lhe estão associadas, toma decisões e executa processos, que podem ser tão simples como pôr um LED a piscar ou mais complexas como controlar um leitor de mp3.

O microcontrolador usado neste projecto, é o mesmo que foi usado no projecto anterior. É da família PIC (*Programmable Intelligent Computer*), produzido pela Microchip Technology Inc. Os PICs são bastante comuns, devido ao seu baixo custo e à sua flexibilidade que permite a sua utilização num sem fim de aplicações. Mais concretamente o microcontrolador escolhido foi o PIC18F2550 que tem um *pin out* conforme a figura 5.9, e cujas principais características são:

- Arquitectura de 8 bit;
- Memória do programa, 32KB;
- Memórias EEPROM, 256 Bytes;
- Memória RAM, 2048 Bytes;
- 24 Portos de E/S;
- 2 Módulos de PWM;
- 10 ADC 10 Bit;
- 4 Temporizadores;
- Oscilador interno, 32kHz a 8MHz;
- Velocidade máxima CPU, 48MHz;
- Alimentação, 2,2 – 5,5 V (versão LF);
- USB 2.0 (12 Mbit/s) interface;
- Comunicação digital: 1-A/E/USART, 1-MSSP (SPI/I2C);

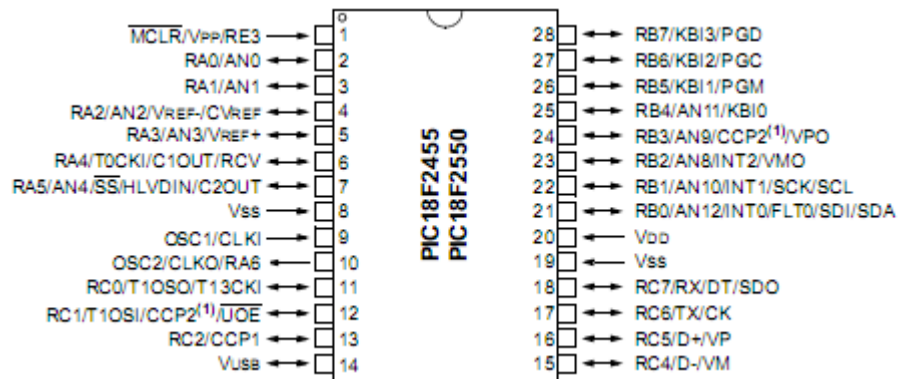


Figura 5.9 – Pin out do microcontrolador PIC18F2550 (encapsulamento SOIC)

Foi escolhido o encapsulamento SOIC, uma vez que o circuito foi realizado utilizando uma montagem superficial.

5.3.3 Circuito final

Após a escolha dos novos componentes a incorporar, estes foram montados numa *breadboard* (placa de teste), a fim de serem testados. De notar que alguns dos componentes são de montagem superficial, pelo que foi necessário adaptá-los à placa.

Na figura 5.10 é possível visualizar a montagem dos diferentes componentes, que permitiu verificar que o consumo baixou dos 40 mAh para os 10 mAh, o que é bastante satisfatório a nível de autonomia.

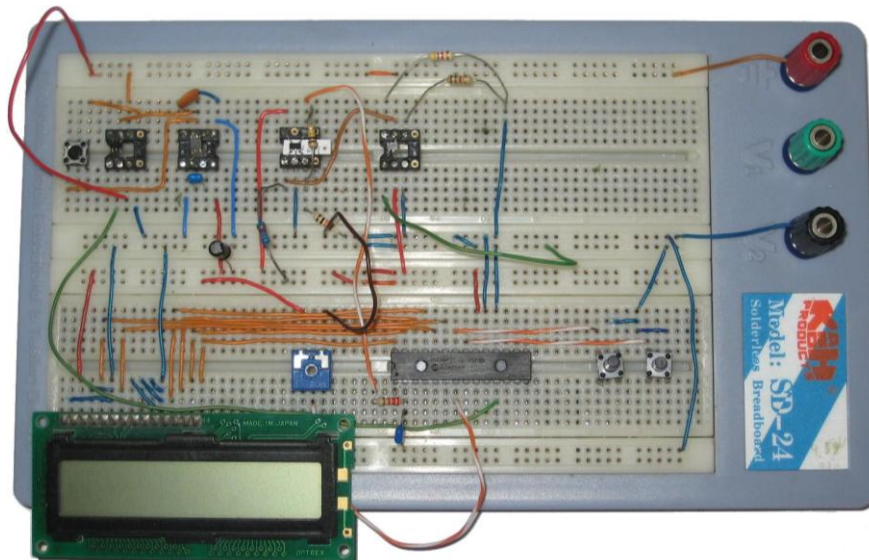


Figura 5.10 – Circuito montado na *breadboard*

A partir desta montagem foi possível desenhar a placa de circuito a colocar no dispositivo, pelo que se apresentam nas próximas figuras o esquema de ligações e o desenho da PCB a partir do qual se fizeram as placas de circuito impresso para soldar os respectivos componentes.

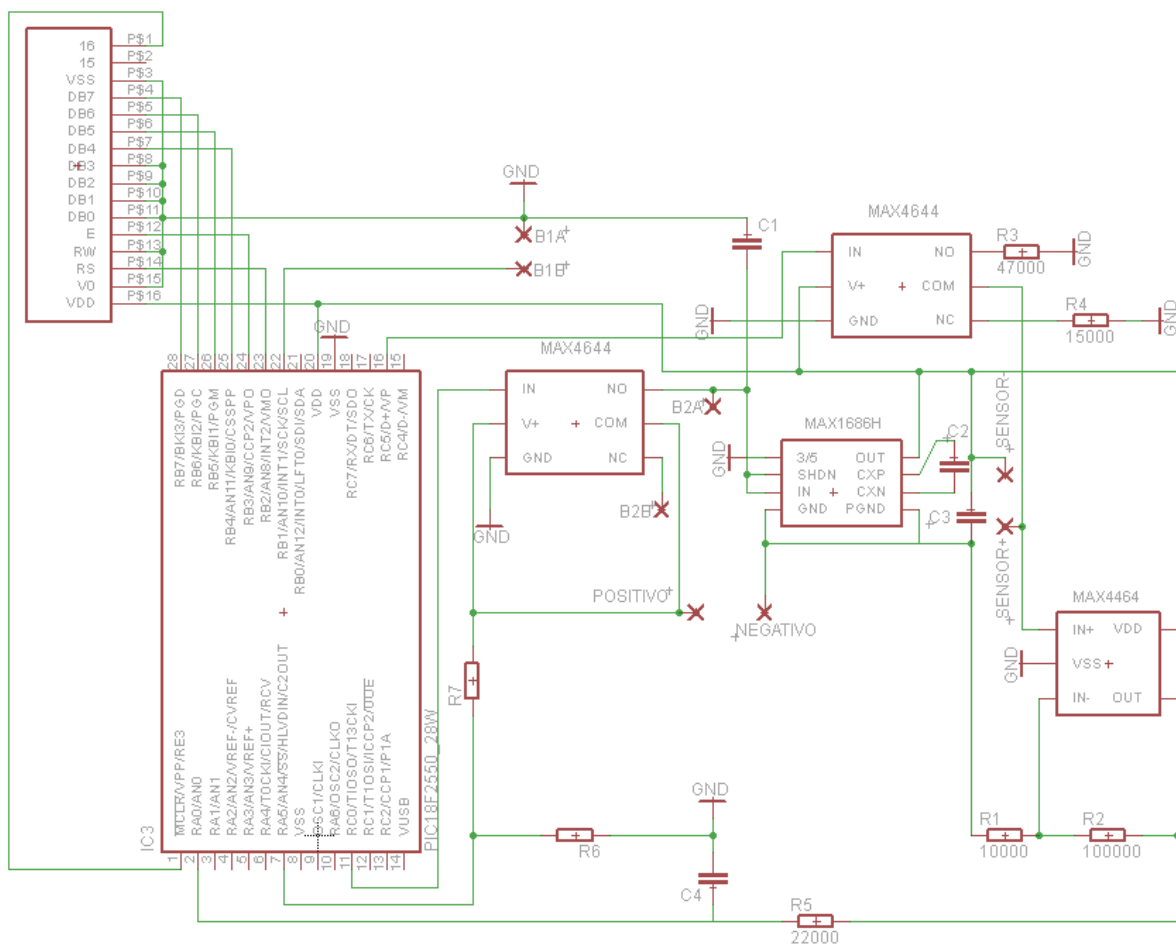


Figura 5.11 – Esquema de ligações do novo circuito

Como se pode verificar no esquema da figura 5.11, em comparação com o apresentado aquando da descrição do protótipo anterior (figura 5.1), constata-se que houve uma grande redução do número de componentes. Isto vem de encontro aos objectivos para esta fase do trabalho, uma vez que tal redução, permite uma melhor incorporação da electrónica no dispositivo cujo espaço é bastante reduzido.

Placa de circuito impresso

Definido o circuito electrónico, foi desenhada a placa de circuito para sua implementação. De notar que todos os componentes são de montagem superficial. Este tipo de montagem é, por um lado, vantajosa, pois as suas dimensões são bastante reduzidas e de um modo geral têm melhor eficiência energética. Por outro lado, torna mais complexa a fase de montagem, uma vez que será necessária bastante precisão ao soldar os respectivos componentes.

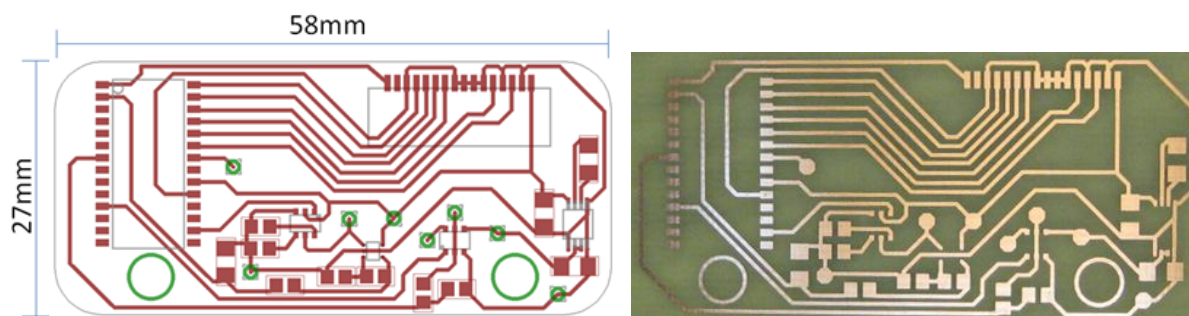


Figura 5.12 – Modelo e placa de circuito impresso.

A figura 5.12 apresenta a placa resultante, versão “Eagle” e respectiva realização. Foi possível dispor todo o circuito em apenas uma das faces da placa de circuito impresso, ficando esta com dimensões compatíveis com o resto do dispositivo.

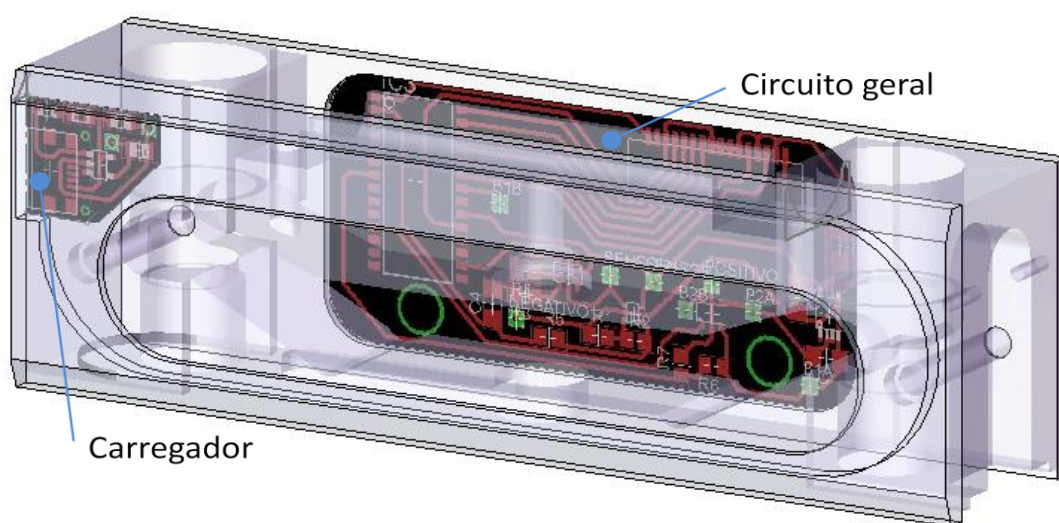


Figura 5.13 – Disposição das placas de circuito no dispositivo.

A disposição das placas de circuito resultantes pode-se visualizar na figura 5.13. A placa de circuito principal estará posicionada na tampa traseira do aparelho, enquanto que o carregador estará alojado entre a tampa do LCD e o corpo.

5.4 Programação

Apresentado o microcontrolador escolhido, o PIC18LF2550, enunciadas as suas características gerais, falta nesta fase, tirar partido de algumas dessas características ou seja programar o microcontrolador.

5.4.1 Sistema de desenvolvimento

De modo a programar e testar o código implementado no microcontrolador, foi utilizada a placa de desenvolvimento EasyPIC4 da mikroElektronika que, tal como se mostra na seguinte figura 5.14, é uma placa electrónica, que permite a programação e teste de *micro-chips* com 8, 14, 18, 28 e 40 pinos da família PIC.

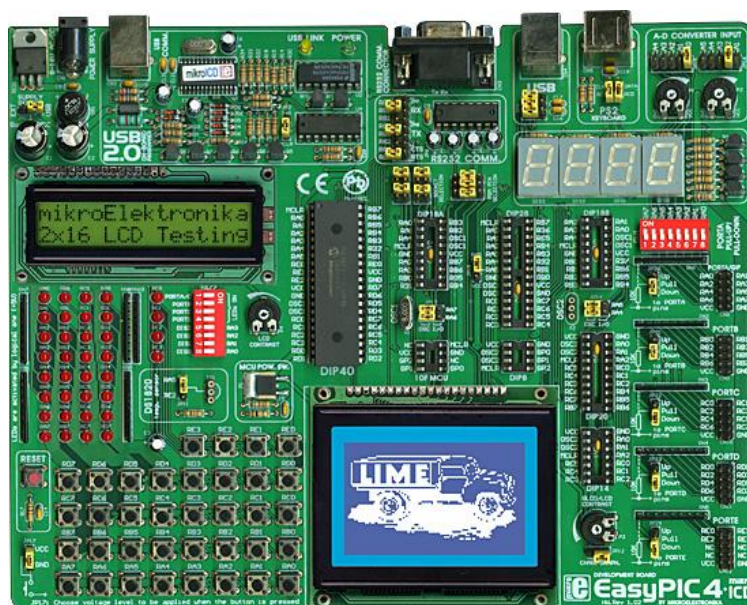


Figura 5.14 – Placa de Desenvolvimento EasyPIC4.

A placa possibilita e facilita bastante o teste do código implementado no microcontrolador, uma vez que tem interligados com o microcontrolador uma série de circuitos externos com os LEDs, botões, LCDs, possibilitando também a comunicação USB, RS232, etc.

Em termos de software, era possível utilizar três tipos de linguagem (C, Basic e Pascal) para programar o microcontrolador, tendo-se optado por programar em C devido ao facto de ser o mais utilizado e consequentemente seria mais fácil o acesso a informação sobre esse tipo de programação. O programa utilizado foi o mikroC, que apesar de utilizar uma linguagem de alto nível, padronizada, tem algumas particularidades que facilitam a programação dos microcontradores da família PIC. Uma vez que o microcontrolador trabalha com código no formato hexadecimal, é ainda necessário um compilador, o PicFLASH que faz parte do software fornecido pela mikroElektronika.

5.4.2 Código desenvolvido

Tendo em conta o protótipo anteriormente desenvolvido, foram delineados uma vez mais, os pontos fulcrais passíveis de ser melhorados. Como qualquer outra aplicação, primeiro há que definir o *Graficet* de funcionamento, e a partir daí é possível desenvolver o código a implementar no microcontrolador.

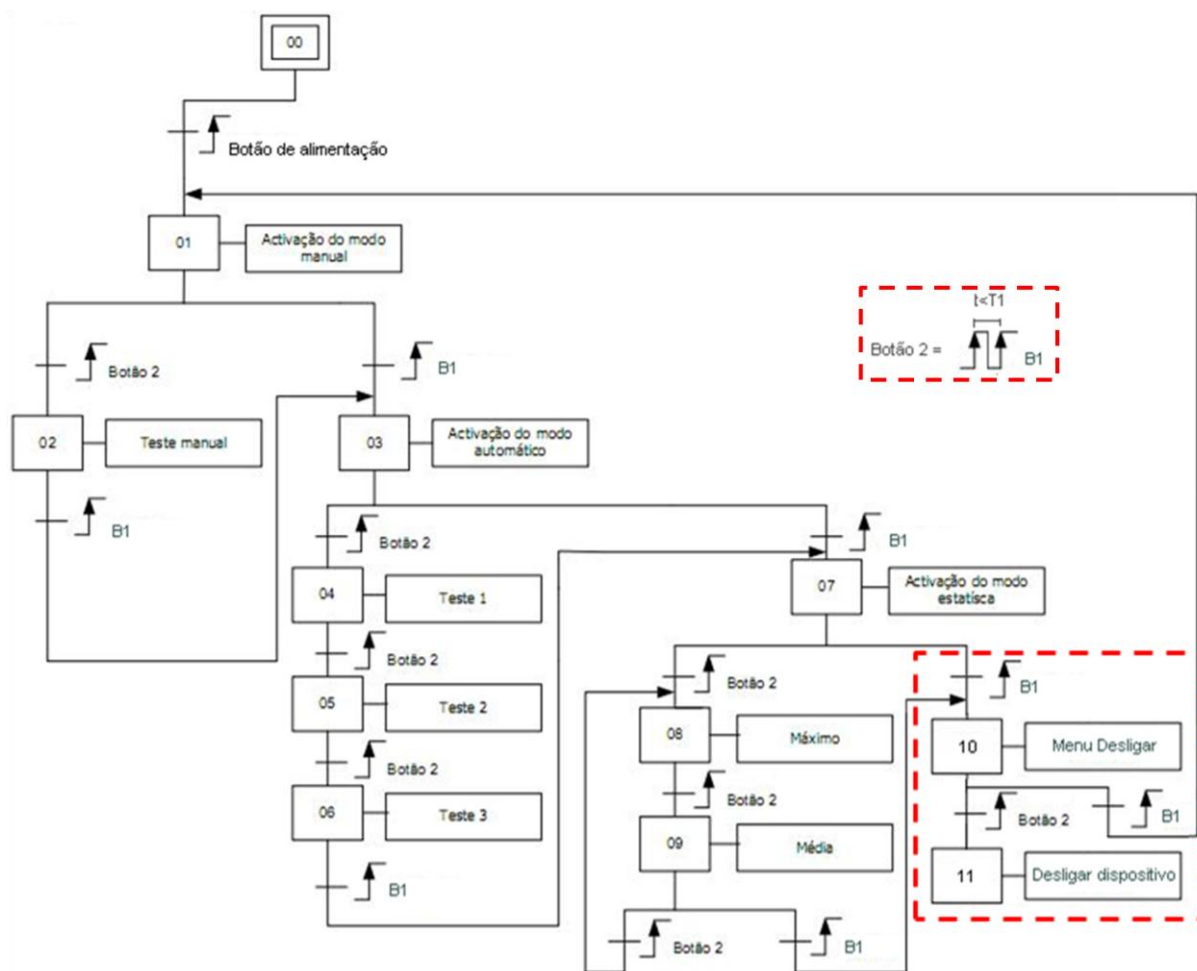


Figura 5.15 – Grafcet de funcionamento.

O *Grafcet* apresentado na figura 5.15 é o que está implementado no anterior protótipo excepto a parte destacada pelo tracejado. Neste, distinguem-se os dois modos de funcionamento, modo manual, em que se apresenta a força máxima feita pelo utilizador e o modo automático, em que são feitos três testes consecutivos, sendo depois apresentados os valores máximo, mínimo e a média dos três testes no modo estatístico.

De uma forma geral, este *Grafcet* adequa-se aos propósitos do dispositivo e enquadra-se com o funcionamento dos aparelhos similares existentes no mercado. Deste modo optou-se por manter o modo de funcionamento da interface com o utilizador. Apenas foi necessário alterar alguns aspectos que têm a ver com algumas modificações feitas na electrónica e que se enumera a seguir:

- Eliminar *botão 2* – Existiam três botões, o botão de alimentação, o botão 1, destinado à navegação nos menus, e o botão 2, que funcionava como botão de confirmação, por exemplo para entrar nos menus. Com a eliminação do botão 2, o botão 1, passa a acumular as duas funções de navegação e validação. Assim sendo, quando num espaço de tempo predefinido, o botão é premido uma vez, este funciona como botão de navegação, se por sua

vez, nesse mesmo espaço de tempo o botão for premido duas vezes, este funciona como botão de confirmação;

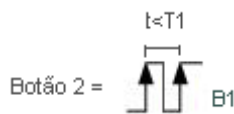


Figura 5.16 – Substituição do botão 2

- Menu desligar - Tendo em conta que no dispositivo anterior, o botão de alimentação com a função ligar/desligar era biestável, e que este estava directamente ligado à alimentação, não era possível programar o seu desligar manual ou automático, pelo que tal foi implementado neste *Grafcet*, bem como o seu desligar automático;

- Detecção de bateria baixa – De maneira a prevenir que o dispositivo fique sem bateria inesperadamente, será implementada uma função que informe o utilizador quando a bateria baixar de um determinado valor de tensão.

No que diz respeito à programação propriamente dita, o trabalho desenvolvido teve como principal objectivo, melhorar a programação existente. Assim, a partir do que havia sido feito no trabalho anterior, o código foi melhorado, através da implementação de rotinas mais eficientes, que se traduzam na ocupação de menos memória e mais rápida execução do algoritmo.

Tal foi conseguido através de uma leitura cuidada do código existente, tendo em atenção as repetições de código que podiam ser simplificadas e através do uso da função *interrupt*. A função *interrupt* tem a particularidade de interromper a normal execução do programa que está a ser corrido pelo microcontrolador. Existem diversas variáveis associadas à função *interrupt*, e com diferentes prioridades, no nosso caso iremos usar temporizadores e a detecção de determinado valor de tensão num dos pinos do microcontrolador. A vantagem desta função é o facto de o programa não ter que estar constantemente a verificar o estado de cada uma dessas variáveis, estando essa rotina (*interrupt*) associada à estrutura interna do microcontrolador.

5.4.3 Conclusão

Com a implementação do novo circuito, conseguiu-se melhorar a autonomia do dispositivo, quer do ponto de vista energético com a redução de consumo dos 40 mAh para os 10 mAh, quer do ponto de vista funcional com a implementação do desligar automático. A remodelação do circuito, permitiu a redução do número de componentes diminuindo o atravancamento da placa de circuito.

No que diz respeito à programação, implementaram-se as remodelações inerentes à reestruturação electrónica, bem como se organizou o código de uma forma mais eficiente, permitindo uma leitura mais rápida e fácil por parte do microcontrolador.

6 . Conclusão Geral e Sugestões para Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

O objectivo deste trabalho, teve em vista a optimização e desenvolvimento de um dispositivo para medir a força prensora da mão, pelo que este deveria responder aos seguintes requisitos:

- Manter o *design* compacto e apelativo;
- Diminuir distância entre pegas, para uma medida standardizada;
- Implementar um novo sistema mecânico de transmissão de força até ao sensor;
- Baixo custo de produção e necessidade de manutenção reduzida;
- Detectar um nível baixo de bateria;
- Desactivação automática do aparelho;
- Implementar um carregador de bateria;
- Melhorar a eficiência energética.
- Suportar uma força máxima de 100 kgf, com uma resolução mínima de 0,1 kgf.

Tendo em conta estes objectivos, pode concluir-se que, apesar de se revelar uma tarefa bastante difícil, se conseguiu reduzir a distância entre pegas de 59 para 48 mm. O facto de se ter que recorrer a um LCD comercial, não personalizado, complicou bastante a tarefa de o incorporar, devido às suas dimensões inapropriadas.

O novo sistema de transmissão de força, tem um guiamento mais eficaz e um sistema de alavancas que lhe permitem maior fiabilidade, independentemente do ponto de aplicação da força.

A alteração do circuito eléctrico permitiu: uma redução do número de componentes, a implementação da desactivação automática e do carregador de bateria por USB. Aliando estas características à nova programação do microcontrolador, foi também possível introduzir a função de detecção de bateria baixa, tendo reduzido o consumo global do dispositivo dos 40 mAh para os 10 mAh.

No entanto ao ter sido introduzido um novo sistema de transmissão de força mais eficiente, mas consequentemente mais complexo, a desvantagem deste novo protótipo, é o

facto do seu processo de fabrico (maquinagem dos diferentes componentes mecânicos) ser de custo mais elevado.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Mais uma vez, este projecto demonstrou o seu grande potencial face aos produtos concorrentes existentes no mercado, pelo que, de maneira a se valorizar ainda mais, propõem-se as seguintes sugestões de evolução:

- Realizar um estudo mais aprofundado sobre o tipo de LCDs existentes no mercado, tendo em vista, um que melhor se adapte ao protótipo (reduzir espessura do protótipo) e que permita a alimentação directa da bateria.
- Modelar uma base (*docking station*) que ao mesmo tempo permita: carregar o dispositivo, comunicar com um computador pessoal e realizar a avaliação da capacidade de força dos dedos dos pacientes (*pinching force*).
- Comunicação com um computador por meio de *wireless* de forma a permitir a construção de uma base de dados automática dos pacientes avaliados.
- Programar o microcontrolador, de modo a que sejam guardados os últimos testes realizados.

7 . Referências Bibliográficas

- [1] Schlussek, Michael; Anjos, Luiz ; Gilberto Kac; “A dinamometria manual e seu uso na avaliação nutricional”; Campinas; 2008;
- [2] Mora R; “Evaluación nutricional - Soporte Nutricional Especial, 2. Edición”; Colombia; 1997.
- [3] Valdes P; “Nuevos enfoques de la valoración nutricional”; Lecturas de Nutrición. 1997.
- [4] Taina, Rantanen, Guralnik, Jack M.; Foley Dan; “Midlife Hand Grip Strength as a Predictor of old age disability”; Jama; 1999.
- [5] Silva, Afonso; “Estudo biomecânico da preensão manual em atletas de diferentes modalidades esportivas”; UDESC; 2006
- [6] Demóstenes, Moreira; Álvarez, Rosicler; Gogoy José; Cambraia, Admiro; “Abordagem sobre preensão palmar utilizando o dinamômetro JAMAR”; 2003.
- [7] Neves, João Pedro; “Dispositivos Médicos – Aspectos regulamentares e certificação”; Biosskin; 2009.
- [8] Decreto-Lei n.º 273/95, de 23 de Outubro
- [9] Mathiowetz, Virgil; Kashman, Nancy; Volland, Gloria; Weber, Karen; Dowe, Mary; Rogers, Sandra; “Grip and Pinch Strength: Normative Data for Adults”; University of Wisconsin-Milwaukee; Milwaukee; WI 53201 Occupational Therapy Program; 1985.
- [10] Monteiro, Leandro; “Projecto de um dispositivo para avaliação da capacidade preensora”; Relatório do projecto final; Faculdade de Engenharia Universidade do Porto; 2008.
- [11] Andrade, Tiago; “Sistema de pesagem para indivíduos com mobilidade diminuída”; Relatório do projecto final; Faculdade de Engenharia Universidade do Porto; 2008.
- [12] Artobolevsky, Ivan; “Mechanisms in Modern Engineering Design”; Mir Publishers; Moscow; 1979.
- [13] Moraes, José Manuel de Simões; “Desenho Técnico Básico, Desenho de Construções mecânicas 3”; Porto Editora; 2002.
- [14] Manfè, Giovanni; Pozza, Rino; Giovanni, Scarato; “Desenho técnico mecânico”; Maxim Behar; 1977.

Referências Bibliográficas

Todos os sites descritos a seguir foram verificados na data de 30 de Julho de 2009

Dinamômetros:

http://www.sammonspreston.com/app.aspx?cmd=get_product&id=277800

<http://www.nexgenergo.com/medical/dynex.html>

<http://www.jansenmedical.net/smedley-type-hand-dynamometer.html>

http://www.sammonspreston.com/app.aspx?cmd=get_subsections&id=100565

<http://www.allproducts.com/sports/active/Product-200772182840.html>

Programação:

<http://www.sparkfun.com/commerce/tutorials.php>

<http://www.mikroe.com/>

<http://www.microchip.com/>

Electrónica:

<http://www.tekscan.com/medical/applications.html>

<http://www.cadsoft.de/index.htm>

<http://www.maxim-ic.com/>

<http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/applets/cmos/cmosdemo.html>

<http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/adn009a.pdf>

<http://www.swarthmore.edu/NatSci/echeeve1/Ref/SingleSupply/SingleSupply.html>

Mecânica:

<http://www.ina.com/content.ina.de/en/index.jsp>

Diversos:

<http://pt.rs-online.com/web/home.html>

<http://www.infarmed.pt>

Anexos

Anexo A: Análise de Tensões e Deformações

A.1 Cassete inferior

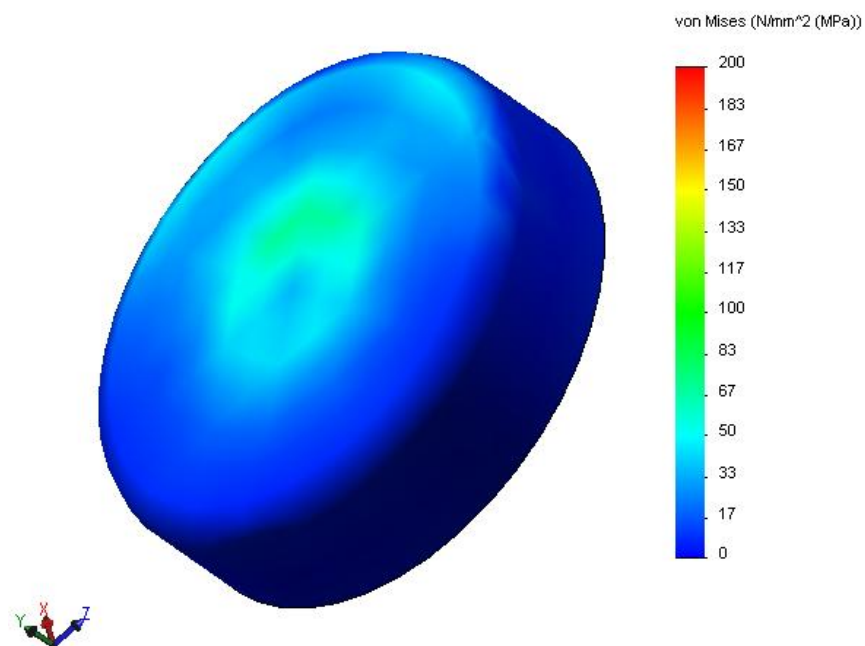


Figura 7.1 - Distribuição de tensões na cassete inferior.

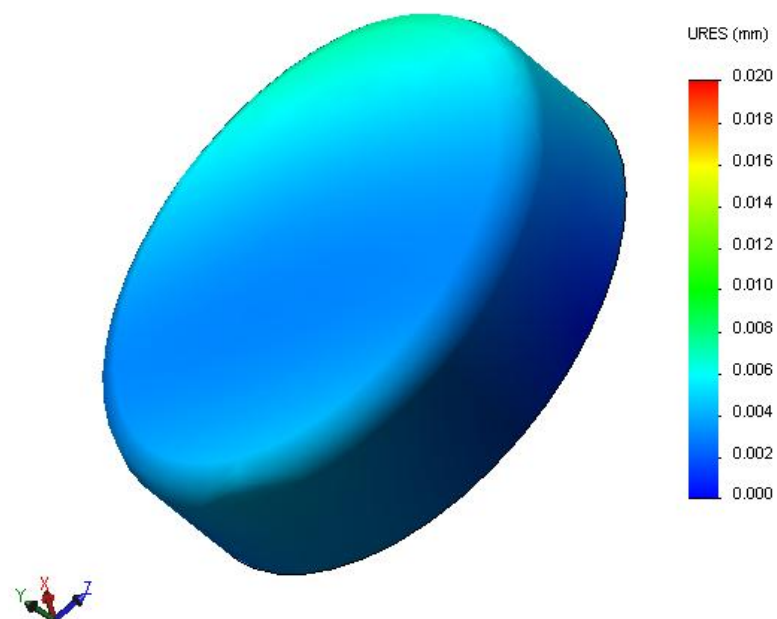


Figura 7.2- Distribuição dos deslocamentos na alavanca inferior (factor de escala de 100).

A.2 Cassete superior

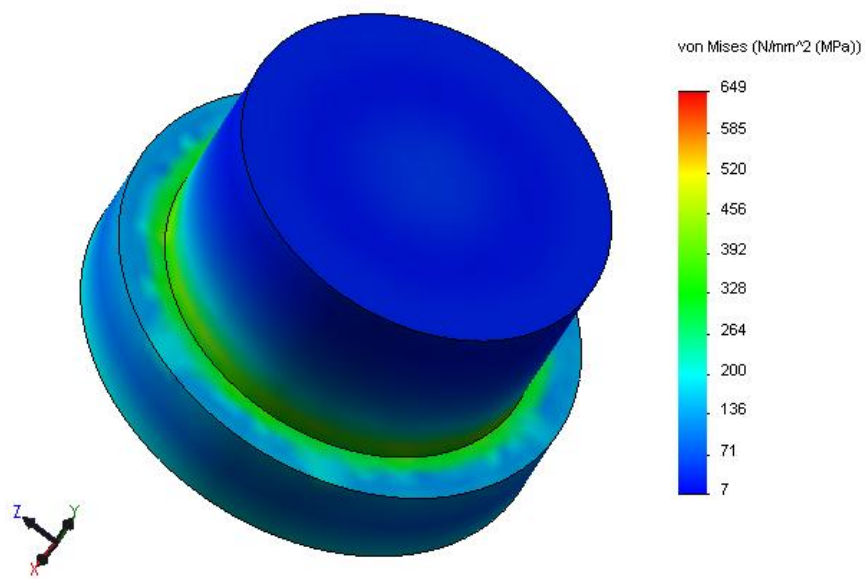


Figura 7.3 – Distribuição de tensões na cassete superior.

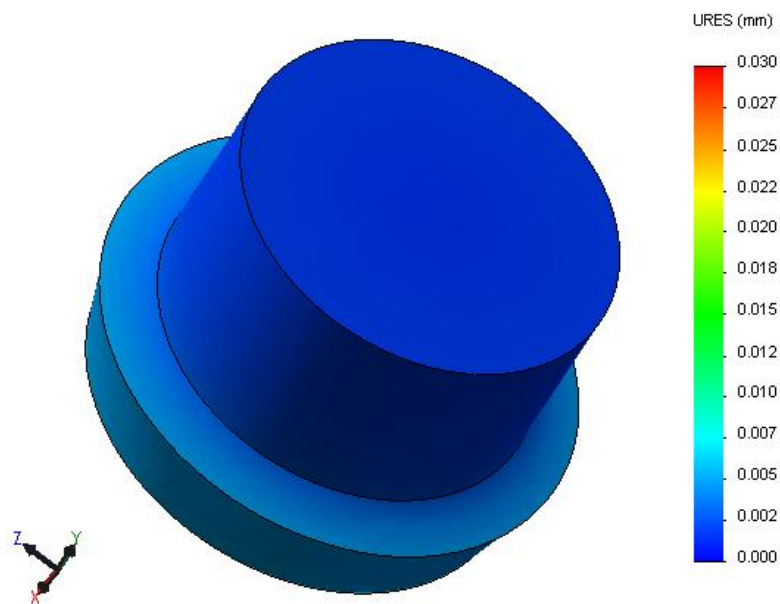


Figura 7.4 – Distribuição dos deslocamentos na cassete superior (factor de escala de 100).

A.3 Cutelo

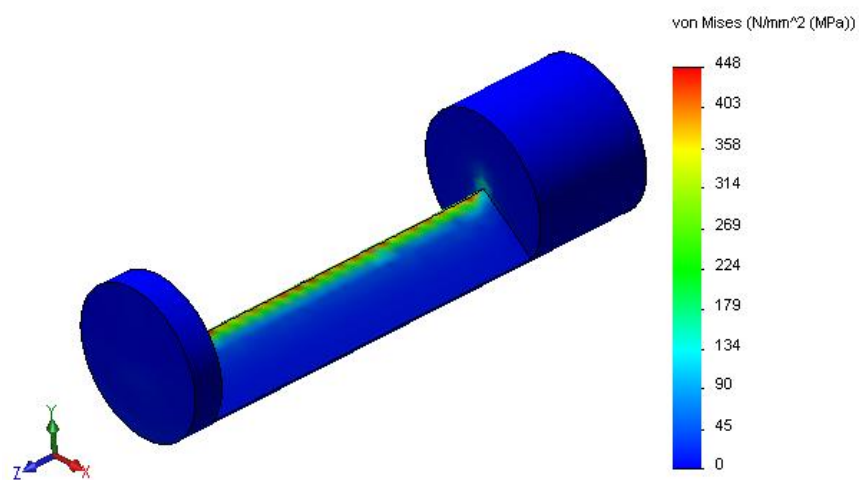


Figura 7.5 – Distribuição de tensões no cutelo.

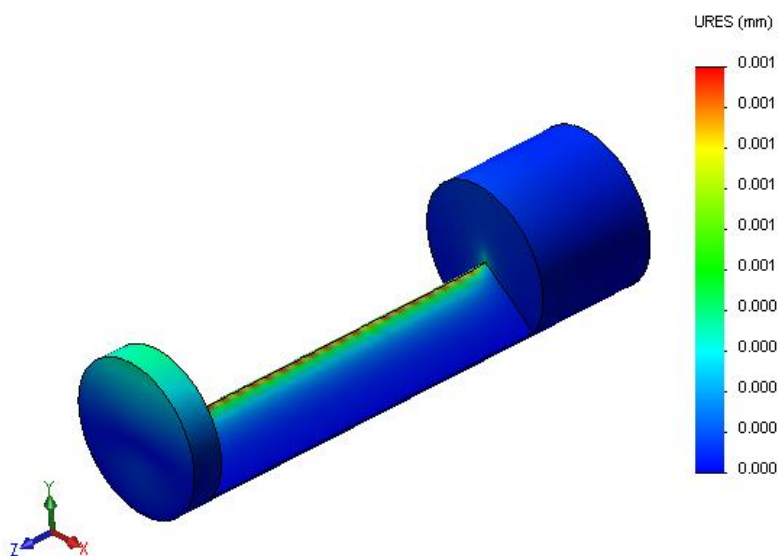


Figura 7.6 - Distribuição dos deslocamentos no cutelo (factor de escala de 100).

A.4 Guilhotina

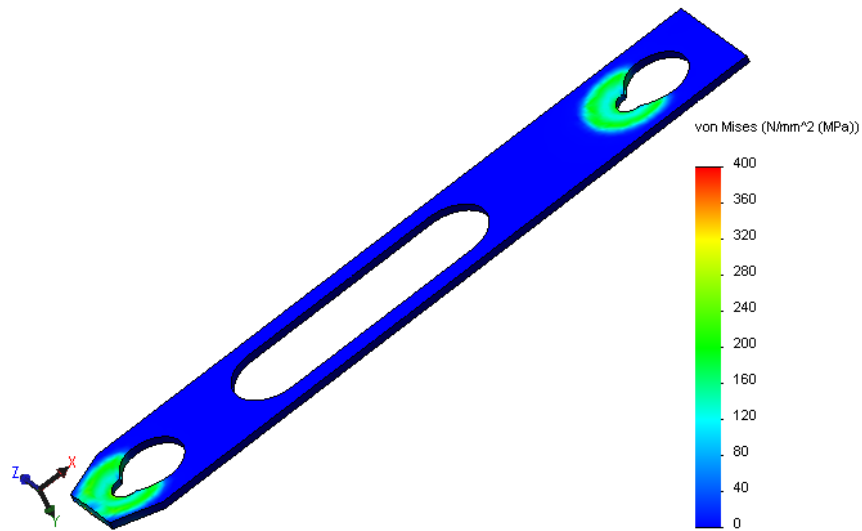


Figura 7.7 – Distribuição de tensões na cassete inferior.

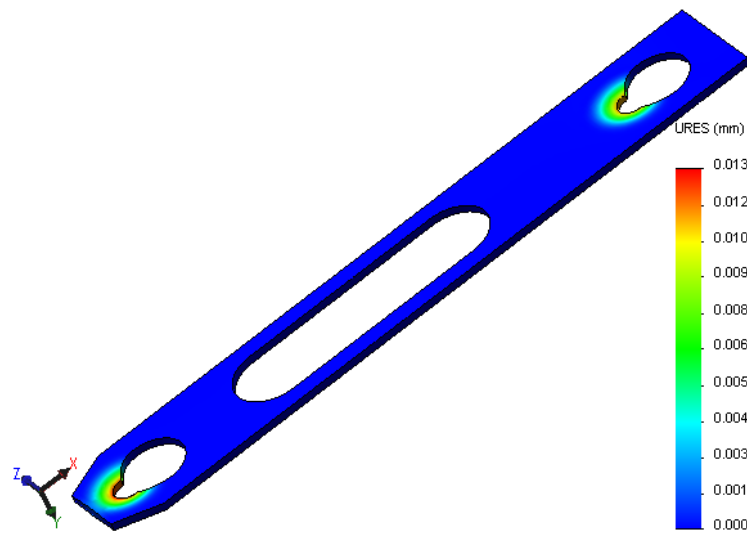


Figura 7.8 – Distribuição dos deslocamentos na alavanca inferior (factor de escala de 50).

Anexo B: Programa do microcontrolador em C

```
//-----//
Projecto: HandGrip V2.0
Autor: Tiago Ramos
//-----//

//Definição das rotinas//
//-----//
void escreve_apagando_LCD(char linha, char coluna,char *text);
void config();
void bateria();
void ler_canal_AD2();
void teste ();
void estatistica ();
void manual();
void valorF (float valor_fixar);
void temDesliga();

//-----//
//Definição das variáveis globais//
//-----//
unsigned int adc_2,adc_1;
float max1,max2,max3,max_f,media,leitura;
char escala1=1,escala2=0,contagem=0;
int short deteccaoescala,teste_valido;
//-----//

//Programa principal//
//-----//
void interrupt()
{
    if (INTCON.TMR0IF==1)
    { if (contagem>=3)
        {
            INTCON.GIE=0;
            PORTC.f0 =0;
        }
        else
        {
            contagem++;
            T0CON.TMR0ON=0;
            TMR0L=0x00;
            TMR0H=0x00;
            T0CON.TMR0ON=1;
            INTCON.TMR0IE=1;
            INTCON.TMR0IF=0;
        }
    }
}

void main ()
{
    char detecaoMA_AUT_Est=1,contador_2=0,oldstate=0,oldstate1=0;
    config();
}
```

```
temDesliga());
//*****

while (1) // A//
{
    if (button(&portb,0,1,0))
        oldstate=1;
    if (oldstate && button(&portb,0,1,1))
    { // Detecção de transição ascendente//
        contador_2++;
        temDesliga();
        if (contador_2>=5)
            contador_2=1;
        oldstate=0;
    }
//*****

    if(contador_2 == 1 && deteacaoMA_AUT_Est==1)
    { // Selecção do modo Manual//
        escreve_apagando_LCD(1,1,"Manual");
        deteacaoMA_AUT_Est=2;
    }
    else if (contador_2 == 2 && deteacaoMA_AUT_Est==2)
    { // Selecção do modo Automático//
        escreve_apagando_LCD(1,1,"Automatico");
        deteacaoMA_AUT_Est=3;
    }
    else if(contador_2 == 3 && deteacaoMA_AUT_Est == 3)
    { // Selecção do modo Estatística//
        escreve_apagando_LCD(1,1,"Estatistica");
        deteacaoMA_AUT_Est=4;
    }
    else if(contador_2 == 4 && deteacaoMA_AUT_Est == 4)
    { // Selecção do modo Estatística//
        escreve_apagando_LCD(1,1,"Desligar?");
        deteacaoMA_AUT_Est=1;
    }
//*****

    if (button(&portb,1,1,0))
        oldstate1=1;
    if (oldstate1 && button(&portb,1,1,1))
    { // Detecção de transição ascendente//
        oldstate1=0;
        if (contador_2==1)
        {
            temDesliga();
            manual();
            OSCCON=0b11101110; // 1MH
        }
        else if (contador_2==2)
        {
```

```

        temDesliga();
        teste();
//        OSCCON=0b11101110; // 1MH
    }
    else if (contador_2==3)
    {
        temDesliga();
        estatistica();
    }
    else if (contador_2==4)
    {
        temDesliga();
        PORTC.f0 =0;
    }
}

//*****//
        bateria();    // Detecção de bateria baixa//
    } //Fim do ciclo while (A)//
} //Fim da rotina main //
//-----//
        // Rotina de configuração//
//-----//
void config()
{
    OSCCON=0b11101110; // programa a frequencia interna para 4MH
    LCD_Init(&PORTB);    //Configuração do LCD//
    LCD_Cmd(LCD_CURSOR_OFF);
    TRISC=0b10000000;
//*****//
    INTCON2.f7=0;    // configura as resistências de pull up
    TRISB = 0b00000011;
    escreve_apagando_LCD(1,6,"Hello!");
    PORTC = 0;
    PORTC.f0 =1;
//*****//
    ADCON1 = 0b00001101;    //selecionada porta AN0 AN1
    TRISA = 0b00000011;
//*****//
    max_f=0.0;
    media=0.0;
    teste_valido=0;
//*****//
    Delay_ms (200);    //alterado 1000
    escreve_apagando_LCD(2,9,"Menu -->"); //Mensagem de introdução//
    LCD_OUT(1,3,"HandGrip FEUP");

} //Fim da rotina config (1)//

//-----//
        //Rotina escreve_apagando_LCD //

```

```
//-----//
void escreve_apagando_LCD(char linha,char coluna,char *text)
{
    LCD_Cmd(LCD_CLEAR);
    LCD_OUT(linha,coluna,text);
}
//-----//
//Rotina bateria //
//-----//
void bateria()
{
    if (portc.f7==1)
        LCD_OUT(2,3,"Bateria Baixa");
}
//-----//
//Rotina para desliga automaticamente//
//-----//
void temDesliga()
{
    INTCON.GIE=1;
    T0CON=0b00000111;
    TMR0L=0x00;
    TMR0H=0x00;
    T0CON=0b10000111;
    INTCON2.TMR0IP=1;
    INTCON.TMR0IE=1;
    INTCON.TMR0IF=0;
    contagem=0;
}

//-----//
//Rotina ler canal analógico 0 //
//-----//
void ler_canal_AD2()
{
    adc_2 = ADC_read(0); //Configuração da entrada Analógica (sensor)//

    OSCCON=0b11101110;

    if (adc_2!=adc_1)
    {
        adc_1=adc_2;
        if (escala1)
        { if (adc_2>1000)
            {
                escala1=0;
                escala2=1;
                PORTC.f6 =1;
                delay_ms(40);
            }
        }
    }
}
```

```

        else if ((adc_2<=1000)&& (adc_2>55))    //950 --> 4.59 Volt
        {
//          LCD_OUT(1,2,"0");
          leitura=0.01431*adc_2-0.095;
        }
        else if (adc_2<=55)    //950 --> 4.59 Volt
        {
//          LCD_OUT(1,2,"0");
          leitura=0.012582*adc_2;
        }
        }
        else if (escala2)
        { if (adc_2<246)
          {
            escala1=1;
            escala2=0;
            PORTC.f6 =0;
            delay_ms(40);
          }
        else if ((adc_2>=246) && (adc_2<1023))
        {
//          LCD_OUT(1,2,"1");
          leitura=0.000032446*adc_2*adc_2+0.0703189*adc_2-5.020;
        }
        }
      }
    }
//-----//
    //Rotina teste //
//-----//
void teste()
{
char contador_1=0,deteccaoteste=1,oldstate2=0,oldstate3=0;
//*****//
    escreve_apagando_LCD(1,1,"Fazer 3 Teste");//Mensagem de introdução/
//*****//
    max3=0.0;
    max2=0.0;
    max1=0.0;    //Inicializar variáveis//
//    deteccaoescala=0;
    escala1=1;
    escala2=0;
    PORTC.f6 =0;
    adc_1=1000;
while (1) //B//
{
    if (button(&portb,1,1,0))
        oldstate2=1;
    if (oldstate2 && button(&portb,1,1,1))
    {    // Detecção de transição ascendente//

```

```
    oldstate2=0;
    temDesliga();
    escala1=1;
    escala2=0;
    PORTC.f6 =0;
    contador_1++;
    // }

if (contador_1==1 && deteccaoteste==1)
{
    // Iniciar o teste 1 //
    deteccaoteste=2;
    escreve_apagando_LCD(1,1,"Teste 1 em curso");
    LCD_OUT(2,7,"kgf");
}
else if (contador_1==2 && deteccaoteste==2)
{
    // Iniciar o teste 2 //
    deteccaoteste=3;
    escreve_apagando_LCD(1,1,"Teste 2 em curso");
    LCD_OUT(2,7,"kgf");
}
else if (contador_1==3 && deteccaoteste==3)
{
    // Iniciar o teste 3//
    deteccaoteste=1;
    escreve_apagando_LCD(1,1,"Teste 3 em curso");
    LCD_OUT(2,7,"kgf");
}
}

//*****//
ler_canal_AD2();
//*****//

if (contador_1==1 && leitura>=max1)
{
    max1=leitura; //actualização do valor máximo do teste 1//
    valorF(max1);
}
else if (contador_1==2 && leitura>=max2)
{
    max2=leitura; //actualiza do valor máximo do teste 2//
    valorF(max2);
}
else if (contador_1==3 && leitura>=max3)
{
    max3=leitura; //actualiza do valor máximo do teste 3//
    valorF (max3);
}

//*****//
if (contador_1>=4)
{
    escreve_apagando_LCD(1,1,"Teste completado");
}
```

```

        teste_valido=1;
        return;        //Retoma à rotina main//
    }
//*****//
    if (button(&portb,0,1,0))
        oldstate3=1;
    if (oldstate3 && button(&portb,0,1,1))
    {        // Detecção de transição ascendente//
        oldstate3=0;
        temDesliga();
        if (contador_1==3)
        {
            escreve_apagando_LCD(1,1,"Teste completado");
            teste_valido=1;
            return;        //Retoma à rotina main//
        }
        else if (contador_1==1 || contador_1==2)
        {
            escreve_apagando_LCD(1,1,"Teste abortado");
            max1=0.0;
            max2=0.0;
            max3=0.0;        //Inicializar variáveis//
            contador_1=0;
            deteccaoteste=1;
            escala1=1;
            escala2=0;
            PORTC.f6 =0;
        }
        else if (contador_1==0)
            return;        //Retoma à rotina main//
        }
//*****//
        bateria();        // Detecção se bateria baixa//
    } //Fim do ciclo while (B)//
} //Fim da rotina teste//
//-----//
void estatistica ()
{
    char contador_0=0,deteccao_max_med=1,oldstate4=0;
//*****//
        escreve_apagando_LCD(1,1,"Max/Med");//Mensagem de introdução//
//*****//
    while (1) //C//
    {
        bateria(); // Detecção de bateria baixa//
        if (button(&portb,1,1,0))
            oldstate4=1;
        if (oldstate4 && button(&portb,1,1,1))
        {        // Detecção de transição ascendente//
            oldstate4=0;

```

```
        temDesliga();
        contador_0++;
    }
//*****//
//          se primeira vez calcula senão não
//*****//
    if (teste_valido)
    {
        teste_valido=0;
        media=((max1+max2+max3)/3);// Cálculo do valor médio//
        max_f=max1;
        if (max_f<max2)
            max_f=max2;
        if (max_f<max3)
            max_f=max3;
    }
    if (contador_0==1 && deteccion_max_med==1)
    {
        escreve_apagando_LCD(1,1,"Maximo");
        valorF(max_f);
        LCD_OUT(2,7,"kgf");
        deteccion_max_med=2;
    }
    else if (contador_0==2 && deteccion_max_med==2)
    {
        escreve_apagando_LCD(1,1,"Media");
        valorF(media);
        LCD_OUT(2,7,"kgf");
        deteccion_max_med=1;
        contador_0=0;
    }
//*****//
    if (button(&portb,0,1,0))
        return; //Retoma à rotina main//
//*****//
    } //Fim do ciclo while (C)//
} //Fim da rotina estatística//
//-----//
//Rotina Manual//
//-----//
void manual()
{
    float valormax=0.0;
    //deteccionoescala=0;
    escala1=1;
    escala2=0;
    PORTC.f6 =0;
    adc_1=1000;
    escreve_apagando_LCD(1,1,"MAX:");
    LCD_OUT(2,7,"kgf");
}
```

```

while (1) //D//
{
//*****//
    ler_canal_AD2();
//*****//
    if (leitura>=valormax)
    {
        valormax=leitura;    //Seleção do máximo do modo manual//
        valorF(valormax);
    }
//*****//
    if (button(&portb,0,1,0))
        return;    //Retoma à rotina main//
//*****//
    if (button(&portb,1,1,0))
    {
        valormax=0;
        //deteccaoescala=0;    // Inicializar variáveis//
        temDesliga();
        escala1=1;
        escala2=0;
        PORTC.f6 =0;
    }
//*****//
    bateria(); // Detecção de bateria baixa//
} //Fim do ciclo while (D)
} //Fim da rotina manual //

//*****//
// Função valorF//
//*****//

void valorF (float valor_fixar)
{
    unsigned long ch;
    unsigned int medida;
    valor_fixar=valor_fixar+0.05;
    medida=(unsigned int) (valor_fixar*10);
    ch = (medida)%10;
    LCD_Chr(2,5,48+ch);
    LCD_Chr(2,4,'.');
    ch = (medida/10)%10;
    LCD_Chr(2,3,48+ch);
    if (medida>=100)
    {
        ch = medida/100;
        LCD_Chr(2,2,48+ch);
    } else LCD_Chr(2,2,'');
}

```

```

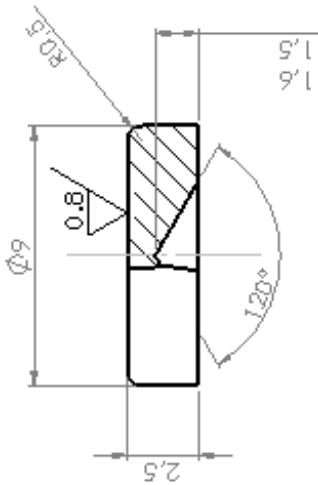
//*****//
//Duplo_clique (não implementado)//
//*****//
/*
unsigned short cnt=76,duplo_clique=0; // Define variable cnt & duplo_dlique

void interrupt() {
    cnt++ ;           // Interrupt causes cnt to be incremented by 1
    PIR1.TMR1IF = 0;   // Reset bit TMR1IF
    TMR1H = 224;       // TMR1H and TMR1L timer registers are returned
    TMR1L = 0x00;      // their initial values
}

void main() {
    char oldstate = 0;
    PORTB = 0xF0;      // Initial value of port B bits
    trisc = 0xFF;      // Port c pins are configured as inputs
    TRISD = 0;         // set PORTD to be output
    PORTD = 0x0F;      // Initial value of port D bits
    TRISB = 0;         // Port B pins are configured as outputs
    T1CON = 1;         // Set timer TMR1
    INTCON = 0xC0;     // Enable interrupt (bits GIE and PEIE)
    do {               // Endless loop
        if (Button(&PORTc, 1, 1, 1)){
            oldstate = 1; } // detect logical one on RC1 pin
        if (oldstate && Button(&PORTc, 1, 1, 0)) // detect one-to-zero transition on RC1
pin
        {
            oldstate=0;
            if(cnt < 76) duplo_clique++;
            else{PIE1.TMR1IE = 1;
                PIR1.TMR1IF = 0; // Reset bit TMR1IF
                TMR1H = 224; // Set initial value for timer TMR1
                TMR1L = 0x00;
                cnt=0;
                duplo_clique=1;}}
            if (cnt == 77) {
                PIE1.TMR1IE = 0;
                if ( duplo_clique >=2)
                    {PORTd = ~PORTd;
                     duplo_clique=0;}
                if (duplo_clique==1)
                    {PORTB = ~PORTB;
                     duplo_clique=0;}}
            } while (1);
        }
    }
}
*/
//*****//

```


Anexo C: Desenhos de Definição

1	2	3	4	5	6
					
					
FEUP - SAIC					
Cassete inferior - HG					
QUANTIDADE	1	AUTOR	Tiago Ramos		
MATERIAL	14CrNi14	DESG	DES09090901		
DATA DE CRIAÇÃO	04-04-04	SCALP	SPT 1 Q11		
1	2	3	4	5	6
A4					

