



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia Electromecânica

Nova geometria para sobre-colchão anti-escaras

Modos de funcionamento do enchimento

Ana Raquel Dias dos Santos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Ramo Sistemas Biónicos

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor António Eduardo Vitória do Espírito Santo

Co-orientador: Profª. Doutora Maria da Assunção Morais e Cunha Vaz Patto

Covilhã, Outubro de 2012

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus pela ajuda que me concedeu para alcançar mais esta grande etapa no meu percurso académico, pelas bênçãos que me concedeu a cada dia, pelos professores, família e amigos que me ajudaram e animaram a alcançar mais um degrau na escada da vida que a pouco e pouco vou subindo.

Ao Professor Doutor António Espírito Santo pela paciência que demonstrou ter ao longo do tempo, pelo conhecimento que partilhou com entusiasmo, pela ajuda e orientação dadas ao longo deste percurso, pela disponibilidade e compreensão que sempre manifestou.

À Professora Doutora Maria Vaz Patto, o meu agradecimento pela disponibilidade e orientação prestada, pelos conhecimentos e instrumentos de trabalho que gentilmente me cedeu.

Aos meus pais e às minhas irmãs pelo apoio, coragem e ajuda em todo o percurso académico e vida pessoal.

Ao Vítor Gonçalves um enorme obrigado pela preciosa ajuda que me deu na construção do molde em cobre, pois sem isso o protótipo em PVC não seria possível.

À Sílvia, à Raquel F., ao Bruno C., ao Enoque, ao Nelson, ao Carlos Machado e Carlos Alvarenga e a todos aqueles amigos que mesmo à distância me deram força e ânimo nos momentos mais complicados.

À Isabel, à Idália e à Liliana pelos momentos de companheirismo e amizade ao longe destes últimos dois anos. Pelo apoio, boa disposição e humor que sempre tiveram nas situações mais críticas.

Ao Paulo pela ajuda que me prestou quando parecia que não saída do mesmo sítio.

Ao pessoal do Laboratório onde escrevi as últimas páginas da dissertação, pelo bom ambiente de ajuda e momentos de descontração que proporcionaram.

E por último, mas não menos importante, a todos os colegas de curso que me acompanharam e me transmitiram algo que me beneficiou.

A todos,
o meu sincero obrigado!

Resumo

Com o intuito de contextualizar o desenvolvimento de um sobre-colchão de pressão alternada, é feita uma breve abordagem às necessidades de cuidados de saúde que a população com dificuldades de mobilidade requer. O estado de saúde nestes doentes pode ser agravado se uma mobilização conveniente e regular não for realizada. A imobilização quer seja por doença, acidente ou idade avançada aliada a factores externos é a causa principal do surgimento de feridas (úlceras de pressão) dolorosas e de difícil tratamento. Estas feridas desenvolvem-se nas zonas de proeminência óssea, sendo estas zonas de apoio que apresentam maior pressão quando se está sentado ou deitado. Identificado o problema procurou-se encontrar uma solução que ajudasse a prevenir o aparecimento das úlceras de pressão. Um sobre-colchão de pressão alternada mostrou ser uma resposta adequada. Após definição do objectivo, foi elaborada uma pesquisa destes dispositivos médicos e uma análise das características de funcionamento. Por fim foi desenhada uma nova geometria em conjunto com a programação dos possíveis modos de funcionamento do colchão com recurso à ferramenta de trabalho da Texas Instruments - Launchpad e o funcionamento electropneumático na implementação real do dispositivo.

Palavras-chave

Síndrome de Imobilização, proeminência óssea, úlcera de pressão, escara, dispositivo médico, colchão de pressão alternada, circuito pneumático, electroválvula.

Abstract

In order to contextualize the development of an alternating pressure air mattress, a brief approach to the needs of health care that people with mobility impairments requires is presented. The health status of these patients can be aggravated if a convenient and regular mobilization is not performed. Immobilization whether by disease, injury or age coupled to external factors is the main cause of the appearance of painful wounds (pressure sores) that are difficult to treat. This wounds develop in areas of bony prominence, which are the support zones where the pressure rises when a person sits or stands up. Identified the problem we tried to find a solution that would help prevent the onset of pressure ulcers and a pillow-top mattress alternating pressure proved to be an adequate answer. After setting the target, it was made a search of these medical devices and analysis of operating characteristics. Finally it was proposed a new geometry combined with programming of possible modes of operation of the mattress using the working tool from Texas Instruments - Launchpad as well the electropneumatic operation in the implementation of the real device.

Keywords

Immobilization Syndrome, bony prominence, pressure ulcers, bedsores, medical device, alternating pressure air mattress, pneumatic circuit, electrovalve.

Índice

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xv
Lista de Acrónimos.....	xvii
Capítulo 1	1
1.1. Medicina e população geriátricas.....	1
1.2. Síndrome de imobilização (SI).....	2
1.3. Úlceras de pressão	4
1.4. Úlceras de pressão - Causas	5
1.5. Úlceras de pressão - Locais de maior incidência.....	6
1.6. Úlceras de pressão - Sintomas e classificação.....	6
Capítulo 2	9
2.1. Prevenção de escaras.....	9
2.2. Tratamento das úlceras de pressão	10
2.2.1. Tratamento não cirúrgico.....	10
2.2.2. Tratamento cirúrgico	12
2.3. Equipamentos redutores de pressão	13
Capítulo 3	15
3.1. Dispositivos médicos, classificação e normas.....	15
3.2. PVC e dispositivos médicos	17
Capítulo 4	19
4.1. Especificações base do sobre-colchão	19
4.2. Diferentes configurações e soluções	20
4.3. Desenvolvimento do protótipo do sobre-colchão em PVC.....	23
4.4. Funcionamento geral do sistema de prevenção de escaras	26
4.4.1. Máquina de estados finita.....	28
4.4.2. Desenvolvimento do projecto com suporte Grace.....	32
4.5. Funcionamento electropneumático do sobre-colchão	36

Capítulo 5	39
5.1. Discussão e conclusão.....	39
5.2. Perspectivas futuras	40
Bibliografia.....	41
Anexo I.....	45
Anexo II.....	49
Anexo III	53
Anexo IV	59

Lista de Figuras

Figura 1. Representação anatómica da pele, respectivas camadas e estruturas associadas, onde é relevante a epiderme e a derme. Retirado de [20].	4
Figura 2. Necrose (morte) das células que compõem a pele, por acção da compressão exercida pelo peso do corpo através da proeminência óssea (retirado de [28]).	5
Figura 3. Várias posições e respectivos locais susceptíveis ao desenvolvimento de úlceras de pressão. A) Posição de supinação. Locais: nuca, omoplatas, cotovelo, cóccix e calcanhar. B) Posição lateral. Locais: orelha, ombro, cotovelo, anca, joelho e tornozelo. C) Posição sentado na cama. Locais: nuca, omoplata, cóccix e calcanhar. D) Posição sentado numa cadeira de rodas. Locais: omoplata, cóccix, anca, zona sacro, zonas posterior e inferior do calcanhar. Adaptado de [24].	6
Figura 4. Úlcera de pressão de grau I. Retirado de [32].	7
Figura 5. Úlcera de pressão de grau II. Retirado de [32].	8
Figura 6. Úlcera de pressão de grau III. Retirado de [32].	8
Figura 7. Úlcera de pressão de grau IV. Retirado de [32].	8
Figura 8. Debridamento de uma úlcera. Adaptado de [41].	11
Figura 9. Pensos hidrocolóides e de alginato. Retirado de [42].	11
Figura 10. <i>Flap reconstruction</i> . Retirado de [37].	12
Figura 11. Sacos e tubos intravenosos (retirado de [64]).	17
Figura 12. Tubo nasogástrico (retirado de [65]).	17
Figura 13. Sacos de recolha de sangue (retirado de [66]).	18
Figura 14. a) Ilustração exemplificativa de uma célula. b) Quando é repetida a célula e efectuada uma ligação entre o conjunto de células os circuitos pneumáticos são criados. ...	20
Figura 15. Colchão de pressão alternada NeoBlow 8200. O circuito de ar é composto por células cilíndricas de base oval (Adaptado de [70]).	20
Figura 16. Sobre-colchão de pressão alternada EXCEL 2000. Dispositivo composto por células, semelhante a losangos, interligadas em sequência. O dispositivo apresenta dois circuitos de ar (retirado de [71]).	21
Figura 17. Sobre-colchão de pressão alternada EXCEL 4000. À semelhança do dispositivo da Figura 15, o circuito de ar também é feito por cilindros de base oval mas com diferente orientação (retirado de [72]).	21
Figura 18. Célula base do sobre-colchão construído nesta dissertação. A geometria da célula é circular e onde a disposição dos circuitos pneumáticos é feita de forma intercalada. As setas a verde e vermelho indicam a circulação de ar no circuito pneumático C1 e C2, respectivamente.	21

Figura 19. Célula unitária do protótipo (imagem à esquerda) que ao ser multiplicada (imagem à direita) permite formar um módulo ou até o sobre-colchão inteiro de pressão alternada. .	22
Figura 20. a) Unidade modular aplicada na zona da anca. b) Utilização do mesmo mecanismo com aplicação numa escala menor, neste caso no cotovelo onde o dispositivo envolverá a articulação do mesmo. A zona de aplicação de a) ou b) pode variar em ambos os casos.	22
Figura 21. Telas de PVC utilizadas na construção do protótipo do sobre-colchão.	23
Figura 22. Molde em cobre da célula utilizado para soldar as telas de PVC (à esquerda). Dimensões do molde em cobre para construção do protótipo (à direita).	23
Figura 23. Aplicação do molde em cobre na base do ferro de passar a roupa.	24
Figura 24. Colocação do pano entre o ferro e a tela superior de PVC para evitar o derretimento da tela. Após a colocação do pano é feita pressão no ferro para que as telas de PVC possam ficar unidas o melhor possível.	24
Figura 25. Remoção do tecido que se colocou para protecção da tela de PVC.	25
Figura 26. Construção dos canais de distribuição de ar e de comunicação entre células do mesmo circuito.	25
Figura 27. Protótipo do sobre-colchão em PVC finalizado. As setas a vermelho e verde indicam a entrada do ar para os dois circuitos pneumáticos presentes no protótipo.	25
Figura 28. Funcionamento do sobre-colchão em modo alternado. Ao se pressionar um botão (Switch), o ciclo de enchimento alternado entre o circuito 1 e o circuito 2 é iniciado. Do lado direito está representado o enchimento do circuito 1 (C1) e do lado esquerdo o do circuito 2 (C2). Após o enchimento de C1, a electroválvula V1 fecha permitindo que o ar se mantenha neste circuito durante 10 minutos. Terminando os 10 minutos, a electroválvula V1 abre, deixando o ar sair. Logo de seguida é iniciado, do mesmo modo, o enchimento do circuito pneumático C2 durante um período igual de 10 minutos.	26
Figura 29. Funcionamento do sobre-colchão em modo estático. Em qualquer momento do funcionamento em modo alternado, pressionando um segundo botão (Switch2), os circuitos C1 e C2 enchem permanecendo nesse estado até que seja dada ordem para desligar.	27
Figura 30. Ferramenta de trabalho Launchpad MSP- EXP430G2231.	27
Figura 31. Activação do LED verde ou vermelho de acordo com o modo de funcionamento, alternado ou estático. No modo alternado apenas está cheio o circuito pneumático cujo LED esteja activo, enquanto que no modo estático os dois LED se encontram activos indicando que os dois circuitos pneumáticos estão cheios.	28
Figura 32. Diagrama de transição de estados aquando do funcionamento da máquina de estados finita.	30
Figura 33. Tabela da máquina de estados finita no FSMGenerator.	31
Figura 34. Criação de um projecto “vazio” Grace.	32
Figura 35. Visualização gráfica dos periféricos do MSP430G2231 no projecto com suporte Grace. Os módulos sinalizados com um visto a verde são aqueles que necessitam de ser configurados de acordo com as exigências do projecto.	32

Figura 36. Configuração do BCS.	33
Figura 37. Configuração do WDT.	34
Figura 38. Configuração do Timer_A2.	34
Figura 39. Configuração dos portos de saída e entrada.	35
Figura 40. Possível electroválvula direccionada a utilizar para permitir o enchimento alternado do sobre- colchão.	36
Figura 41. Circuito de interface entre o microcontrolador e o solenóide da electroválvula. ...	37

Lista de Tabelas

Tabela 1. Consequências da SI em vários sistemas do organismo e tópicos preventivos ou de tratamento. Adaptado de [7].	3
Tabela 2. Graus de classificação das úlceras de pressão. Adaptado de [21, 22].	7
Tabela 3. Superfícies de suporte estáticas/dinâmicas e respectivas vantagens e desvantagens.	14
Tabela 4. Classificação da classe do dispositivo médico e respectivo grau de risco[55].	15
Tabela 5. Especificações base para um colchão e compressor com base numa análise comparativa de produtos já existentes no mercado.....	19
Tabela 6. Tabela de transição de estado dos LED durante o funcionamento do sobre-colchão.	30

Lista de Acrónimos

BCS	Basic Clock System
DEHP	Di-(2-ethylhexyl)-phthalate)
EPUAP	European Pressure Ulcer Advisory Panel
GPIO	General Purpose Input Output
LED	Light Emittig Diode
NPUAP	National Pressure Ulcer Advisory Panel
PVC	Poli(cloreto de vinila)
SI	Síndrome de Imobilização
TI	Texas Instruments
WDT	Watchdog Timer

Capítulo 1

1.1. Medicina e população geriátricas

Na Europa como no resto do mundo, a esperança média de vida tem vindo a aumentar em média 30 anos, ou até um pouco mais como é o caso da Itália e da Espanha [1]. Com o aumento da população idosa a nível mundial, novos desafios e ideias surgem com o propósito de garantir os cuidados de saúde apropriados a esta fatia da população [2-5].

Segundo Cruz-Jentoft [4], algumas das decisões que podem ser tomadas com vista a proporcionar um envelhecimento com maior qualidade passam por: escolher um estilo de vida saudável, fazer prevenção contra certos vírus através da tomada de fármacos que reforçam o sistema imunitário, adoptar medidas preventivas quanto a lesões cutâneas e a identificação precoce de doenças.

Os recursos institucionais disponíveis cada vez mais condicionam a qualidade dos serviços prestados a qualquer pessoa mas em especial a doentes geriátricos, pois em consequência do aumento da idade, o funcionamento do organismo sofre de forma acentuada um declínio que gera uma diminuição da auto-suficiência. Pessoas idosas que se encontrem nas condições citadas, tornam-se incapazes de resistir facilmente a doenças associadas à idade e outros factores ou situações que ameaçam a qualidade de vida das mesmas [3, 6, 7].

Tendo em conta o que é mencionado anteriormente, as pessoas idosas carecem de necessidades médicas particulares e especiais quando comparado com pessoas mais jovens. Assim, em muitos países foi criada uma especialidade médica que se ocupa da observação, tratamento e acompanhamento da população mais idosa, a Medicina Geriátrica [8, 9].

O envelhecimento faz parte do ciclo da vida, sendo um fenómeno complexo. Segundo Troen [10], a par do envelhecimento existem várias modificações no organismo do indivíduo que apresentam as seguintes características: aumento da mortalidade com o aumento da idade; mudança na composição bioquímica dos tecidos; diminuição progressiva na capacidade fisiológica; redução na capacidade de resposta devidamente adaptada aos estímulos e um aumento da susceptibilidade e vulnerabilidade às doenças.

1.2. Síndrome de imobilização (SI)

De acordo com J. M. Ribera Casado, às pessoas que precisavam de receber cuidados médicos devido a complicações clínicas ou após cirurgias era recomendado repousar numa cama. Lionel Cosin disse com relação ao repouso que “*bed is bad*” (“a cama é má”), e pretendia alertar para o facto de que quanto mais cedo a mobilização de um doente em recuperação fosse efectuada, maior seria a vantagem em termos da reabilitação [5].

Vários autores declaram que o exercício físico/fisioterapia realizado nos pacientes pós cirurgia ou com estado de saúde crítico, enquanto estes permanecem num determinado serviço do hospital, ajuda a promover a sensação de bem-estar e a recuperar parte do funcionamento do seu organismo [11-13].

Num estudo, P. Kortebein diz que o sistema muscular de indivíduos saudáveis e bem nutridos, quando imobilizados além das 72 horas, começa a mostrar sinais de atrofia[14]. Michele Iannuzzi-Sucich et al. chegou à conclusão de que adultos idosos perdem mais massa muscular esquelética, força e resistência quando comparado com adultos um pouco mais jovens e que quando se compara homens e mulheres, verifica-se nos homens uma maior perda quando comparado com as mulheres [15].

A imobilidade pode ter origem nas mais diversas patologias tais como: doenças cardio-respiratórias, doenças vasculares, musculares, neurológicas entre outras, sendo essencial a prevenção ou tratamento destas situações. Se houver uma imobilidade prolongada, o organismo irá sofrer uma deterioração progressiva nos vários sistemas chegando então à Síndrome de Imobilização [7].

A Síndrome de Imobilização (SI) foi definida por Pietro de Nicola, no seu livro intitulado *Geriatrics*, como sendo uma síndrome que “*deriva principalmente do facto de que todos os órgãos e aparelhos podem ressentir-se, de forma grave, da própria imobilidade e de suas consequências, a começar pela deterioração intelectual e comportamental, dos estados depressivos, dos distúrbios cardiovasculares e respiratórios, digestivos e metabólicos, obstipação, hipotonia muscular, osteoporose, desnutrição, distúrbios metabólicos, (...). Trata-se, portanto, de todo um complexo de alterações que se repercutem negativamente sobre o organismo, tendo origem na imobilidade...*” [16].

Na Tabela 1 são apresentadas consequências da SI nos vários sistemas, assim como alguns itens a ter em conta para a prevenção e/ou tratamento.

Tabela 1. Consequências da SI em vários sistemas do organismo e tópicos preventivos ou de tratamento. Adaptado de [7].

<i>Sistema</i>	<i>Consequências</i>	<i>Prevenção/Tratamento</i>
Tegumentar	Atrofia da pele Úlceras de pressão Escoriações ...	Proteger de forma adequada todas as proeminências ósseas, posicionar o doente no leito da cama, mudança de posição, hidratação da pele, uso de colchão próprio, etc.
Esquelético	Osteoporose Fracturas ...	Exercício que permita a movimentação passiva e activa das articulações, exposição solar e toma de cálcio.
Muscular	Atrofia muscular Contracturas Aumento do tónus muscular (Hipertonía) ...	Movimentação precoce e posição adequada na cama.
Cardiovascular	Embolia pulmonar Isquemia arterial Hipotensão postural	Uso de anticoagulantes, elevar a cabeceira e evitar flexão inferior a 20% entre o joelho e o quadril.
Urínario	Incontinência Retenção urinária	Uso de sonda, uso de fraldas geriátricas.
Digestivo	Desnutrição Disfagia (dificuldade na deglutição) ...	Uso de sonda nasogástrica ou, se a disfagia não melhorar, usar sonda nasoentérica.
Nervoso	Depressão Demência Alterações no sono ...	Possível acompanhamento psicológico/psiquiátrico.
Respiratório	Pneumonia Insuficiência respiratória	Bom aquecimento do doente, uso de antibióticos.

1.3. Úlceras de pressão

As úlceras são feridas que podem ser encontradas no interior (mucosa) ou exterior (pele) do corpo humano, derivam da perda de tecido em determinadas áreas. Úlceras internas são aquelas que se encontram ao longo da mucosa dos órgãos internos, sendo classificadas de acordo com a sua localização. As mais frequentes ocorrem no tubo digestivo que é composto por diversos órgãos, e os locais onde emergem com maior incidência são o estômago e o duodeno [17], designando-se como úlceras gástricas e duodenais, respectivamente. As úlceras que apresentam interesse para o desenvolvimento desta dissertação são as externas uma vez que se desenvolvem no sistema tegumentar, apresentadas na Tabela 1 como Úlceras de pressão.

A pele faz parte do nosso sistema tegumentar. Este sistema comporta diversas funções essenciais à vida, exemplos disso são a protecção do organismo e a regulação da temperatura. A integridade da camada de pele pode ser comprometida pelas mais variadas razões como por exemplo através de queimaduras, doença (infecções, inflamações ou cancro), fricção, pressão, tracção ou uma nutrição desadequada [17, 18]. A pele é constituída, essencialmente, por duas camadas (Figura 1):

- a *epiderme*, camada mais superficial que oferece alguma resistência estrutural assim como a protecção indispensável contra as agressões do meio externo, funcionando também como uma película permeável, e
- a *derme*, situada logo abaixo da camada anterior provê o suporte mecânico preciso. Ao contrário da epiderme, a derme contém vasos sanguíneos que transportam os nutrientes essenciais para o funcionamento correcto de toda esta estrutura [19].

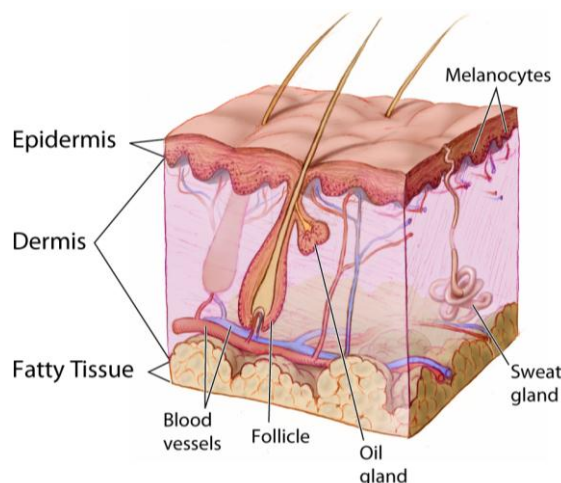


Figura 1. Representação anatómica da pele, respectivas camadas e estruturas associadas, onde é relevante a epiderme e a derme. Retirado de [20].

1.4. Úlceras de pressão - Causas

Várias são as causas que contribuem para o aparecimento das úlceras de pressão, nomeadamente: força de fricção, humidade e pressão, tendo esta última um papel crítico no desenvolvimento destas feridas [21], pois quando a pressão é exercida por um longo período de tempo a integridade da pele é afectada.

A definição internacional, segundo o NPUAP (National Pressure Ulcer Advisory Panel) e o EPUAP (European Pressure Ulcer Advisory Panel), para úlcera de pressão é:

“A úlcera de pressão é uma lesão localizada na pele e/ou em tecidos adjacentes próximos a zonas de proeminência óssea, resultante da pressão, ou pressão combinada com fricção.” [22].

Pessoas que permanecem imóveis por um período de tempo de 2 a 6 horas numa cama ou numa cadeira de rodas, quer seja por serem idosos quer por falta de sensibilidade ou mobilidade e não conseguem alterar a sua posição, são alvos fáceis para o aparecimento destas feridas, que se não forem devidamente tratadas originam graves infecções que podem culminar em morte [23-25].

A não movimentação do corpo torna as áreas onde a quantidade de gordura e músculo é diminuída, nomeadamente zonas de proeminência óssea, mais susceptíveis à incidência de úlceras [26]. Nestas zonas, a pressão exercida nos tecidos moles é naturalmente maior mas se se combinar com um longo período de tempo de compressão, o aporte do fluxo sanguíneo para os tecidos envolventes passa a ser parcial ou totalmente inexistente, fazendo com que a nutrição e oxigenação das estruturas locais ocorra de forma deficiente ou simplesmente não ocorra, provocando a morte de tecidos moles e de músculos [18, 26, 27]. Na Figura 2, é possível observar o início do desenvolvimento de uma úlcera devido à pressão constante do peso do corpo.

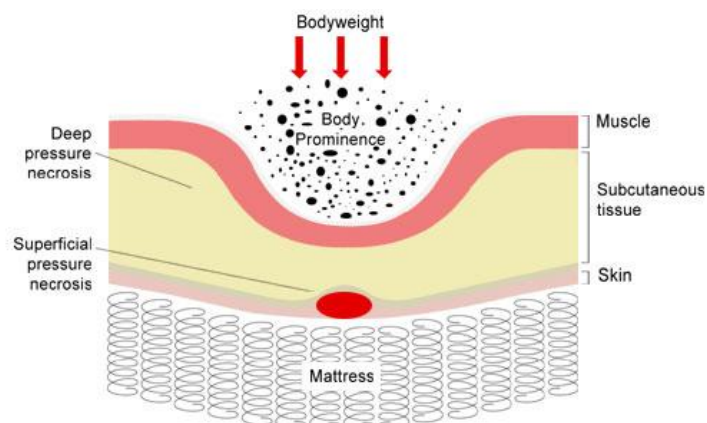


Figura 2. Necrose (morte) das células que compõem a pele, por acção da compressão exercida pelo peso do corpo através da proeminência óssea (retirado de [28]).

1.5. Úlceras de pressão - Locais de maior incidência

O corpo humano quando se encontra em pé, sentado ou deitado apresenta locais de apoio onde os valores de pressão são mais elevados devido à proximidade de extremidades ósseas, tal como mencionado anteriormente. As áreas mais susceptíveis ao aparecimento de escaras ou úlceras de pressão relacionam-se também com a posição em que a pessoa se encontra (Figura 3).

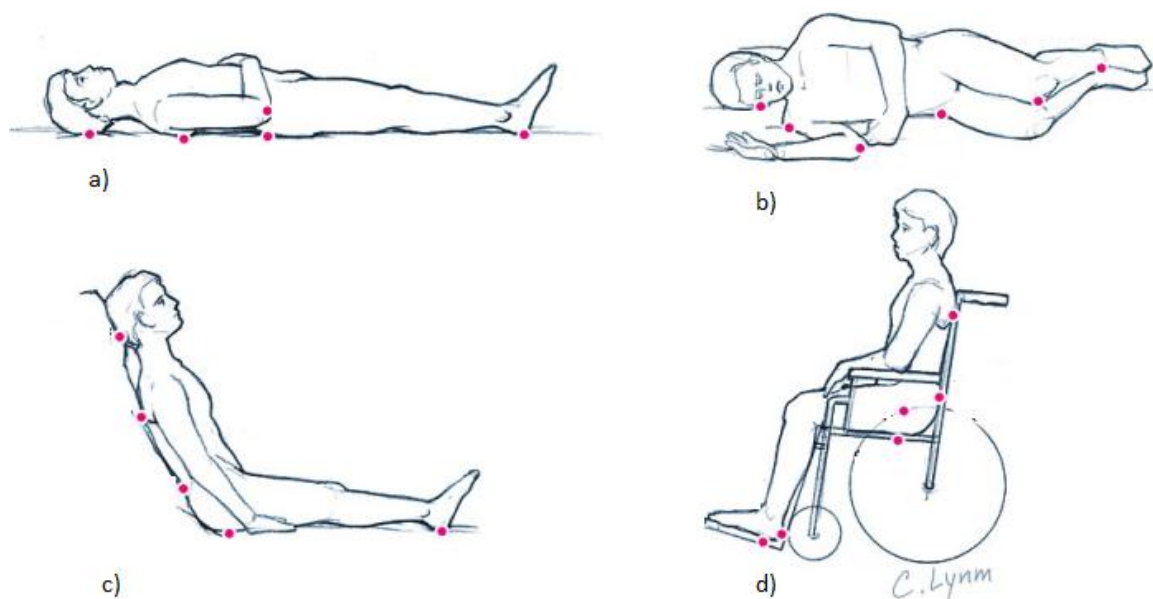


Figura 3. Várias posições e respectivos locais susceptíveis ao desenvolvimento de úlceras de pressão. A) Posição de supinação. Locais: nuca, omoplatas, cotovelo, cóccix e calcanhar. B) Posição lateral. Locais: orelha, ombro, cotovelo, anca, joelho e tornozelo. C) Posição sentado na cama. Locais: nuca, omoplata, cóccix e calcanhar. D) Posição sentado numa cadeira de rodas. Locais: omoplata, cóccix, anca, zona sacro, zonas posterior e inferior do calcanhar. *Adaptado de [24].*

1.6. Úlceras de pressão - Sintomas e classificação

Este tipo de lesão cutânea é extremamente dolorosa, trazendo consigo além da dor e do desconforto, outros factores de risco para a saúde da pessoa, se a úlcera não sarar [29]. É comum serem observados outros sintomas associados, tais como a depressão, infecções locais ou gerais (sépsis) e diminuição dos níveis de hemoglobina no sangue (anemia) [30, 31].

De acordo com a severidade do dano presente na pele e tecidos atingidos, as úlceras são classificadas em 4 estádios [18, 21, 22]. No 1º estádio identificam-se os primeiros sinais característicos, e no 4º é verificado que muitas das estruturas estão gravemente afectadas. Segundo o NPUAP-EPAUP, os 4 estádios que definem o grau da úlcera e respectivos indícios são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Graus de classificação das úlceras de pressão. Adaptado de [21, 22].

<i>Estágio/Grau</i>	<i>Descrição</i>
I	<p>Eritema não branqueável (Figura 4) A pele mantém-se intacta.</p> <p>A área em causa pode apresentar dor, ser firme, suave, ter uma temperatura superior ou inferior quando comparado com os tecidos circundantes. Uma pigmentação mais escura pode impedir a visualização da vermelhidão e a detecção do problema.</p>
II	<p>Flictena (Figura 5)</p> <p>A derme apresenta uma perda parcial da sua espessura levando a que haja uma úlcera aberta, não muito profunda e com coloração rosa-vermelho no leito da mesma. Não apresenta nódos negros.</p>
III	<p>Úlcera superficial (Figura 6)</p> <p>Perda total do tecido (derme e epiderme). Pode ser visível a gordura, mas não há ainda exposição de osso, tendão ou músculo.</p>
IV	<p>Úlcera profunda (Figura 7)</p> <p>Verifica-se a perda total de todos os tecidos, com exposição do osso, tendão ou músculo. A profundidade que este grau de úlcera pode apresentar, varia de acordo com a localização anatómica.</p>

Nas figuras seguintes são apresentadas imagens que demonstram as alterações que ocorrem na pele e tecidos que envolvem a proeminência óssea e um exemplo real.

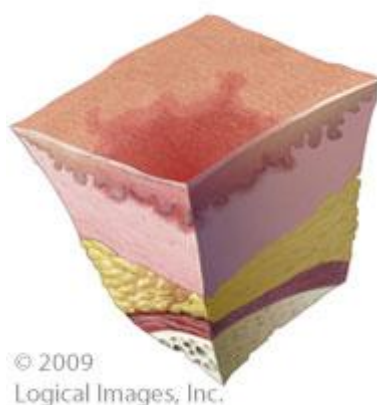


Figura 4. Úlcera de pressão de grau I. Retirado de [32].



Figura 5. Úlcera de pressão de grau II. Retirado de [32].



Figura 6. Úlcera de pressão de grau III. Retirado de [32].



Figura 7. Úlcera de pressão de grau IV. Retirado de [32].

Capítulo 2

2.1. Prevenção de escaras

De acordo com o NPUAP, a prevenção das úlceras de pressão assenta sobre cinco itens:

Avaliação de risco: Esta avaliação deve ser feita em dois momentos, um é na entrada do doente para um serviço de saúde, e o segundo é ao longo da estadia no serviço. Alguns dos factores a ter em conta, e aos quais se deve prestar atenção redobrada, estão directamente relacionados com cada paciente, isto é, são factores de risco individuais. São exemplo destes factores a: condição (diminuída) do estado mental, um valor em excesso de humidade na pele, incontinência urinária, a presença de forças de fricção, a falta de mobilidade e a nutrição deficitária [33].

Tratamento da pele: Toda a extensão da pele, da cabeça aos pés, deve ser examinada cuidadosamente todos os dias, em especial as zonas de proeminência óssea, que é por sinal onde se verifica a maior incidência das úlceras de pressão, como calcanhares, zona sacro, cotovelos e omoplatas. Esta examinação é o que permite detectar a vermelhidão inicial do primeiro estágio do desenvolvimento das úlceras. Devem ser dados banhos individuais frequentes com água não muito quente e sem se friccionar em demasia a pele do doente. Evitar que a pele fique seca, sendo para isso importante manter um nível baixo de humidade e ar fresco (não em demasia). Evitar massagens nas zonas ósseas [33].

Nutrição: A ingestão de calorias e proteínas deve ser observada e se houver necessidade poderá ser dado a tomar ao doente, suplementos vitamínicos ricos em minerais. Manter o paciente hidratado e bem nutrido são duas condições primordiais na prevenção das úlceras, pois a perda de peso do doente acentua o risco de aparecimento destas feridas [33, 34].

Carga mecânica e superfícies de suporte: Em acamados deve ser feita uma mudança de posição de 2 em 2 horas e de 1 em 1 hora se este se encontrar numa cadeira. Se se der o caso de o paciente ter alguma mobilidade, então, quando sentado, deverá fazer uma mudança de posição de 15 em 15 minutos. A postura do corpo deve estar alinhada de modo a proporcionar uma boa distribuição de peso e um bom equilíbrio. Deve ser evitado o uso de dispositivos anti escaras em forma de donut. É aconselhado o uso de dispositivos que fazem a redistribuição da pressão como almofadas ou cunhas de espuma, sendo os últimos para joelhos e anca principalmente [33].

Educação: Devem ser promovidos programas educacionais de prevenção dedicado às úlceras de pressão junto de todos aqueles que lidam de perto com doentes de risco, tal como família, prestadores desse serviço no hospital e até mesmo o próprio doente [33].

A prevenção deve ser o mais importante nestes casos, pois o aparecimento destas feridas pode ocorrer se não houver a mudança de posição frequente e uma limpeza da pele de forma conveniente. E se é rápido o aparecimento das úlceras, a cicatrização destas pode levar até meses, daí que a prevenção seja extremamente necessária. Tal como sugerido pelo NPUAP, o uso de colchões que façam uma distribuição do peso é essencial pois vão permitir que a pressão de interface seja reduzida.

2.2. Tratamento das úlceras de pressão

Quando a úlcera ou escara se instala, o próprio organismo vai tentando recuperar aquela ferida fazendo uso das células responsáveis pelo combate às inflamações. Numa primeira fase o organismo vai formar um exsudato inflamatório com uma resposta celular que vai remover os corpos estranhos que tenham entrado, tecido que já esteja desvitalizado assim como bactérias. Após outros mecanismos, é iniciada a formação de tecido novo. Devido à condição envelhecida da pele do doente (idoso), o nível dos factores de crescimento é inferior, levando assim a que a cura destas lesões seja dificultada. Daí a necessidade de ajudar a cicatrização e portanto, havendo novo tecido formado, o velho deve ser retirado para que a cicatrização se efectue nas melhores condições através do desbridamento do tecido necrótico, a limpeza da ferida e o uso de pensos ou coberturas para as úlceras que fornecem, além de protecção, um ambiente favorável à cicatrização [35].

O grau de desenvolvimento da úlcera determina o procedimento a aplicar, havendo assim duas possibilidades de tratamento. O primeiro será um cuidado prestado por médicos, enfermeiros ou por pessoas habilitadas para tal, não sendo necessário recorrer a uma sala cirúrgica [36] sendo a segunda opção a intervenção cirúrgica que consiste na reconstrução da pele [37, 38].

2.2.1. Tratamento não cirúrgico

Mesmo havendo uma observação atenta da pele do doente, essa prevenção pode falhar [37], daí que seja necessário adoptar medidas que impeçam o desenvolvimento destas feridas para graus superiores. Estas medidas incluem:

- Redução da pressão através do uso de dispositivos adequados para as camas ou cadeiras de roda, tais como almofadas e colchões de ar, de gel ou de pressão alternada [36, 39].

- Desbridamento do tecido necrosado [36]. Neste pequeno acto cirúrgico há remoção do tecido necrosado, uma vez que este é o ambiente ideal para o desenvolvimento de bactérias que provocam infecções que trazem sérias complicações [36, 40]. Exemplo apresentado na Figura 8.



Figura 8. Debridamento de uma úlcera. Adaptado de [41].

- Revestimento da úlcera através do uso de pensos adequados à quantidade de exsudato criado e ao grau da mesma [36]. Este revestimento pode ser feito com vários tipos de materiais, como por exemplo: os pensos hidrocolóides que hidratam a ferida, podem promover o desbridamento autolítico (dissolução do tecido necrótico), aliviam a dor e permitem a uma cicatrização mais rápida; os hidrogéis que absorvem os líquidos resultantes, hidratam e aliviam a dor; os alginatos que ao entrarem em contacto com o exsudato formado criam um gel biodegradável não podendo ser nestes casos usado em feridas secas.



Figura 9. Pensos hidrocolóides e de alginato. Retirado de [42].

2.2.2. Tratamento cirúrgico

De uma forma geral os dois últimos graus ou estágios de úlceras (III e IV) necessitam de intervenção cirúrgica para a resolução ou tentativa de resolução do problema. Uma técnica comumente utilizada na zona sacro, por exemplo, é a *flap reconstruction* [37, 38, 40]. Este procedimento pode ser observado na Figura 10. Esta reconstrução consiste na remoção de uma parte de tecido vivo juntamente com os vasos sanguíneos que o nutrem e sustêm, de uma certa zona do corpo para ocupar o orifício originado pela úlcera [37, 38].

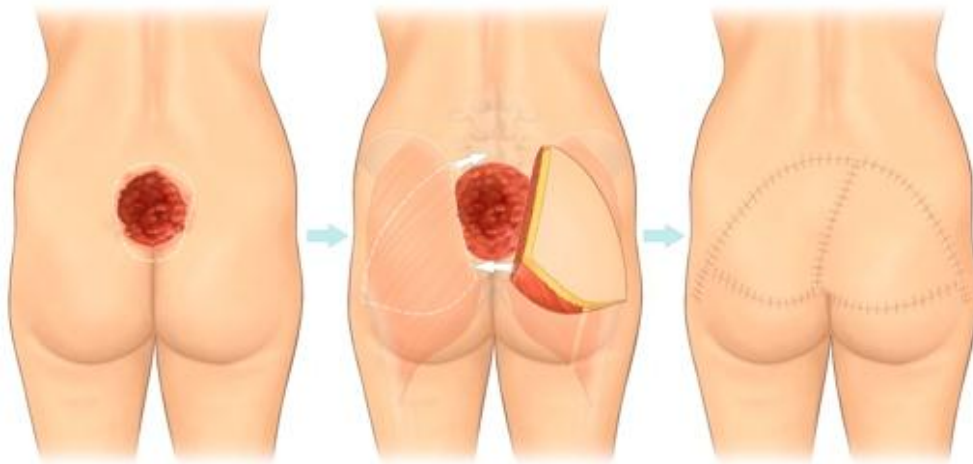


Figura 10. *Flap reconstruction*. Retirado de [37].

2.3. Equipamentos redutores de pressão

Existe no mercado uma enorme quantidade de dispositivos que ajudam na redução da pressão na pele do doente, podendo ser distinguidos consoante o funcionamento dinâmico entre dispositivos estáticos e dispositivos com sistema dinâmico [39, 43].

Os dispositivos estáticos compreendem equipamentos médicos como colchões de gel, espuma, ar ou até mesmo água, e funcionam com o objectivo de distribuir a pressão exercida em determinado local por uma área corporal maior. Já os sistemas dinâmicos (colchões de pressão alternada, low air loss, imersão, rotatório/oscilante [44, 45]) necessitam de fontes de energia para promover a movimentação do ar, e alternar ar dentro de um equipamento destes permite também, a redistribuição da pressão [43].

A utilização destes equipamentos já foi testada quanto à eficácia na redução do aparecimento das úlceras de pressão quando é combinada com a mudança de posição do paciente. TomDefloor et al, chegaram à conclusão que o facto de se usarem dispositivos especiais ao invés dos colchões normais de hospital, poderiam reduzir em muito a incidência de úlceras de pressão, podendo o tempo de reposicionamento do doente ser um pouco maior do que a NPUAP aconselha, 2 em 2 horas [46].

Na Tabela 3 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens do uso destas superfícies. A escolha do tipo de superfície a usar está dependente da avaliação da condição do paciente que pode ser feita através da escala de Braden que ajuda a determinar quem está em risco de desenvolver úlceras de pressão [47].

Comparando os vários dispositivos médicos apresentados, aquele que poderá ser mais vantajoso será o colchão de pressão alternada uma vez que é mais leve quando comparado com os outros modelos de colchão anti-escara, é de fácil lavagem e esterilização, não eleva muito a altura da cama, permite a mobilização dos pontos de pressão no doente, permite uma respiração dos tecidos com mais frequência devido à alternância do ar nos circuitos que constituem o colchão.

Tabela 3. Superfícies de suporte estáticas/dinâmicas e respectivas vantagens e desvantagens.

<i>Superfície de suporte</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<p>Colchão de espuma viscoelástica [48]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil instalação; Não necessita de energia eléctrica; Leve [49] - Reduz pressão transcutânea; Aumenta a área de contacto entre o corpo e a espuma; Melhora a circulação sanguínea; Aumenta o conforto e estabilidade do paciente [48]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não pode ser perfurado por agulhas ou outros objectos cortantes; - Pode aquecer e ao absorver a transpiração aumenta a humidade; - Tem um tempo de vida limitado; - Necessita de protecção plástica para pacientes com incontinência; eleva a altura do leito [49].
<p>Colchões d'água [50]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Previne agitações excessivas; - Distribuição da pressão total em toda a superfície de apoio, tornando-a inferior à pressão arterial, evitando que áreas da pele sejam expostas à pressão; - Fácil utilização; - Colocado em cima do colchão normal; - Lavável com água e sabão [50]; 	<ul style="list-style-type: none"> - O movimento resultante pode dificultar certos procedimentos, assim como, a transferência do doente; - Sujeita a perfuração por objectos cortantes; - Pesada; - Pode diminuir a temperatura do doente se a água arrefecer, sendo necessário algo para aquecer o paciente [49].
<p>Colchões de gel [51]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil limpeza; - Baixa manutenção; boa durabilidade; - Pode ser utilizado juntamente com um colchão de espuma [49]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesado; - Custo elevado [49].
<p>Colchão de pressão alternada [52]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil de limpar, - Esvazia com rapidez em casos de emergência; - Pode permitir uma distribuição desigual da pressão em vários locais; - Permite variar o local da concentração do peso [44]. 	<ul style="list-style-type: none"> - O enchimento/esvaziamento pode incomodar o paciente, - Requer uso de electricidade, e o ruído do motor pode incomodar; - A movimentação pode perturbar o sono do paciente; - A diminuição da pressão numa zona pode levar ao aumento noutra local [49].

Capítulo 3

3.1. Dispositivos médicos, classificação e normas

O Infarmed, Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde, I.P., de acordo com o Decreto de Lei nº. 145/2009 de 17 de Junho declara que dispositivos médicos são todo e “qualquer instrumento, aparelho, equipamento, software, material ou artigo utilizado isoladamente ou combinado, (...) para fins de diagnóstico ou terapêutico (...), cujo principal efeito pretendido no corpo humano não seja alcançado por meios farmacológicos, imunológicos ou metabólicos, embora a sua função possa ser apoiada por esses meios, destinado pelo fabricante a ser utilizado em seres humanos para fins de: diagnóstico, prevenção, controlo, tratamento ou atenuação de uma doença; diagnóstico, controlo, tratamento, atenuação ou compensação de uma lesão ou de uma deficiência; estudo, substituição ou alteração da anatomia ou de um processo fisiológico; controlo da concepção.” [53, 54].

Muitos são os equipamentos ou dispositivos que integram a prática médica. O tipo de equipamento utilizado pode ir de algo simples como um par de luvas de latex utilizado numa cirurgia, até algo mais complexo, como é o caso de uma máquina de hemodiálise. É necessário a adopção de medidas protectoras de modo a que os dispositivos médicos não apresentem perigo, aquando da utilização dos mesmos, para a saúde e segurança do doente.

Ao dispositivo médico é atribuída uma classificação quanto ao risco que apresenta, sendo quatro as classes de risco:

Tabela 4. Classificação da classe do dispositivo médico e respectivo grau de risco[55].

<i>Dispositivo médico de classe:</i>	<i>Risco</i>
I	Baixo
IIa	Médio
IIb	
III	Alto

A determinação do grau de risco de um dispositivo leva em consideração aspectos relacionados com a durabilidade do dispositivo que entra em contacto com o corpo humano (temporários, curto prazo ou longo prazo), a invasão do corpo humano (dispositivos invasivos ou não invasivos), a extensão anatómica que contacta directamente com o dispositivo (pulmões, coração, membros inferiores ou superiores, etc.) e a concepção e fabrico do dispositivo [56].

Relativamente ao último aspecto, os dispositivos concebidos e fabricados devem assegurar algumas características, tais como: a toxicidade dos materiais utilizados; compatibilidade do tecido humano e a superfície do dispositivo; segurança da fonte energética; estanquicidade de acordo com as necessidades; e o funcionamento correcto de componentes controladas por software [57].

Para saber distinguir facilmente um dispositivo de classe I das outras classes, é definido no anexo IX do Decreto de Lei n.º 145/2009 de 17 de Junho, que um dispositivo não invasivo é integrado na classe I cujo grau de risco é baixo, à excepção de produtos como sacos de armazenamento de líquidos corporais e respectivos tubos/cateteres que permitem a condução (classe IIa), e de dispositivos que tenham como função a alteração da composição química ou biológica de líquidos corporais ou de perfusão (classe IIb) [58].

São diferenciados vários tipos de dispositivos consoante o âmbito de utilização do mesmo: dispositivo médico activo, dispositivo médico implantável activo, dispositivo para diagnóstico *in vitro* e dispositivo para investigações clínicas [54].

Um dispositivo médico, independentemente do tipo, pode então ser fabricado desde que o fabricante cumpra os requisitos relativamente à *“preservação da saúde e de segurança previstos no Decreto-Lei n.º. 128/93, de 22 de Abri, alterado pelo Decreto-Lei n.º.139/95, de 14 de Junho, e pelo Decreto-Lei n.º.374/98, de 24 de Novembro, que procede à transposição da Directiva n.º. 89/686/CEE, do Conselho, de 21 de Dezembro”*; à compatibilidade electromagnética dos dispositivos mencionado no Decreto-Lei n.º 325/2007, 28 de Setembro; ao contacto com substâncias tóxicas, cancerígenas ou mutagénicas provenientes dos materiais de fabrico, entre outros [57].

O produto projectado nesta dissertação enquadra-se nos dispositivos médicos activos de carácter terapêutico, classe I, ou seja, é um equipamento que permite a atenuação das consequências da imobilidade de uma pessoa. O seu funcionamento depende do uso de energia eléctrica e não invade o corpo do paciente, logo, o risco de utilização que apresenta é baixo [59, 60].

3.2. PVC e dispositivos médicos

Vários são os materiais que rodeiam o homem. A sua diversificada utilização na engenharia deve-se às diferentes formas de concepção dos mesmos. Podem ser identificados dois grupos: o de materiais clássicos, ou convencionais e o de materiais não clássicos ou polímeros sintéticos. Exemplo do primeiro grupo são as cerâmicas, os vidros, os metais e as madeiras, ao passo que o segundo grupo engloba produtos químicos obtidos por vias sintéticas e cujas propriedades dependem dos monómeros (material base), tipo de reacção utilizada na sua obtenção assim como na técnica de produção [61].

O PVC - Poli(cloreto de vinila) - polímero industrial que resulta da poli-adição, uma das três reacções possíveis para a produção de polímeros, tem uma ampla aplicação para além do mundo industrial. Em áreas específicas tais como a Medicina, os materiais poliméricos têm grande utilização em dispositivos médicos devido às características particulares que podem apresentar [62].

A múltipla aplicação destes polímeros deriva da adição de aditivos que provocam alterações das características como a cor, a flexibilidade e resistência mecânica, estabilidade térmica, toxicidade e outras [63]. A presença de PVC em muitos dispositivos médicos é possível graças ao uso de aditivos em especial, os plastificantes. Exemplos dos dispositivos estão representados na Figura 11, Figura 12 e Figura 13:



Figura 11. Sacos e tubos intravenosos (retirado de [64]).

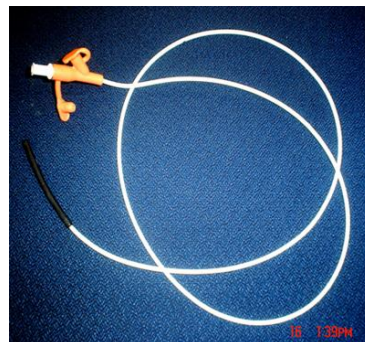


Figura 12. Tubo nasogástrico (retirado de [65]).



Figura 13. Sacos de recolha de sangue (retirado de [66]).

O plastificante DEHP (Di-(2-ethylhexyl)-phthalate) encontra-se presente em muitos dispositivos médicos e ao longo do tempo tem sido contestado o seu uso devido à presença do ftalato que se vai libertando dos materiais que o contêm quando estes são colocados dentro do corpo humano. Pela razão citada anteriormente, muitos afirmam que a presença deste composto pode ser nefasta em especial ao organismo de recém-nascidos e também através de alterações conformacionais nas proteínas [62, 67, 68]. Apesar de ser polémico o uso de dispositivos que contenham ftalatos, foi recomendada a redução na sua utilização nomeadamente em casos onde estes são considerados críticos, tais como em crianças, mulheres grávidas e outras pessoas de risco na Directiva nº. 2007/47/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Setembro [69].

Em relação ao uso externo do PVC em dispositivos médicos, não foram encontrados durante a pesquisa quaisquer problemas.

Capítulo 4

4.1. Especificações base do sobre-colchão

Um colchão ou um sobre-colchão anti escaras apresenta um conjunto de especificações base. Na Tabela 5 são expostas as características que poderão ser aplicadas a um colchão assim como ao compressor que proporcionará o enchimento e esvaziamento do mesmo. O funcionamento do compressor e do colchão poderá ser controlado através do uso do microprocessador MSP430G2231 associado à ferramenta de estudo Launchpad da Texas Instruments (TI). A realização prática deste projecto consiste principalmente em duas etapas.

A primeira etapa abrange as seguintes tarefas de desenvolvimento, projecção e escolha: do material a utilizar para o fabrico do colchão, da geometria dos circuitos de ar, do número de circuitos de ar, de como os circuitos serão alimentados com o ar comprimido, do desenho de cada célula em metal e do melhor meio para se efectuar a soldagem do material.

A segunda etapa será a elaboração do firmware que fará a gestão do funcionamento da aplicação e que será executada pelo microprocessador MSP430 por forma a controlar o funcionamento alternado dos circuitos do colchão.

Tabela 5. Especificações base para um colchão e compressor com base numa análise comparativa de produtos já existentes no mercado.

Colchão	<u>O material</u> usado na construção do colchão é tela de PVC
	Dois <u>circuitos de ar</u> isolados e independentes que se enchem e esvaziam de forma alternada
	<u>Válvula SOS</u> (utilizada nos casos em que é necessário esvaziar rapidamente o colchão - em compensação deve-se poder desligar os tubos do compressor em caso de emergência)
	Dois <u>tubos de PVC</u> , ligados à tela de PVC, que permitem o enchimento/esvaziamento do colchão
	<u>Dimensões(LxWxH)</u> : ~80x80x5cm
Compressor	<u>Eléctricas</u> : Alimentação deverá ser AC 230V com uma frequência de 50-60Hz
	<u>Cabo de alimentação</u> : ~3m
	<u>Pressão a injectar</u> : 15-20 kPa
	<u>Saída de ar</u> : 3-4L/min (adaptável conforme uso de colchão ou módulos)
	<u>Ciclo (tempo)</u> : 10min

4.2. Diferentes configurações e soluções

Encontram-se comercializados, no mercado actual, vários colchões de pressão alternada providenciando uns mais funcionalidades que outros, tendo sempre como objectivo principal e essencial a diminuição da incidência de úlceras de pressão em doentes acamados. Estes dispositivos são compostos por compartimentos onde o ar circula e que ao serem insuflados originam a deslocação dos pontos de pressão no doente. Esta deslocação ocorre exactamente porque os compartimentos, designados nesta dissertação como circuitos pneumáticos, assumem diferentes formas consoante a repetição em padrão de um elemento ao qual é dado o nome de célula. Exemplo de uma célula é a Figura 14.a) cuja repetição origina um padrão (Figura 14.b)). Um exemplo real é dado na Figura 16.

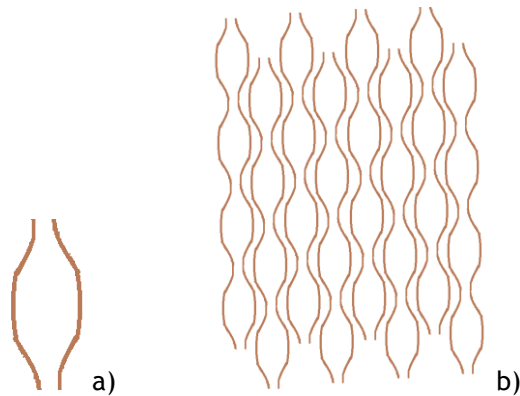


Figura 14. a) Ilustração exemplificativa de uma célula. b) Quando é repetida a célula e efectuada uma ligação entre o conjunto de células os circuitos pneumáticos são criados.

As células de ar que integram estes dispositivos médicos podem assumir várias formas, feitios e tamanhos, tal como mencionado anteriormente, e na Figura 15, Figura 16 e Figura 17, são apresentados alguns exemplos dessa variedade de células.



Figura 15. Colchão de pressão alternada NeoBlow 8200. O circuito de ar é composto por células cilíndricas de base oval (Adaptado de [70]).



Figura 16. Sobre-colchão de pressão alternada EXCEL 2000. Dispositivo composto por células, semelhante a losangos, interligadas em sequência. O dispositivo apresenta dois circuitos de ar (retirado de [71]).



Figura 17. Sobre-colchão de pressão alternada EXCEL 4000. À semelhança do dispositivo da Figura 15, o circuito de ar também é feito por cilindros de base oval mas com diferente orientação (retirado de [72]).

Neste trabalho a célula idealizada é apresentada na Figura 18, mostrando a presença de dois circuitos pneumáticos, um representado com setas a verde (C1) e outro a vermelho (C2), alimentados com recurso a duas electroválvulas V1 e V2 que alimentam os circuitos C1 e C2 respectivamente.

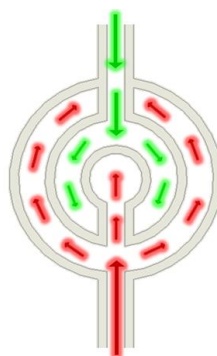


Figura 18. Célula base do sobre-colchão construído nesta dissertação. A geometria da célula é circular e onde a disposição dos circuitos pneumáticos é feita de forma intercalada. As setas a verde e vermelho indicam a circulação de ar no circuito pneumático C1 e C2, respectivamente.

Ao se multiplicar a célula, esta terá que sofrer uma rotação de 180° vez sim, vez não, para que aquando do enchimento dos circuitos haja um maior apoio do doente. A rotação e organização das células serão efectuadas tal como é apresentado na imagem da direita da Figura 19, obtendo assim um módulo ou um sobre-colchão que ao ser ligado a um compressor de ar irá proporcionar o enchimento alternado dos circuitos pneumáticos verde (C1) e vermelho (C2) e uma maior estabilidade ao doente ou à zona que é apoiada por este dispositivo.

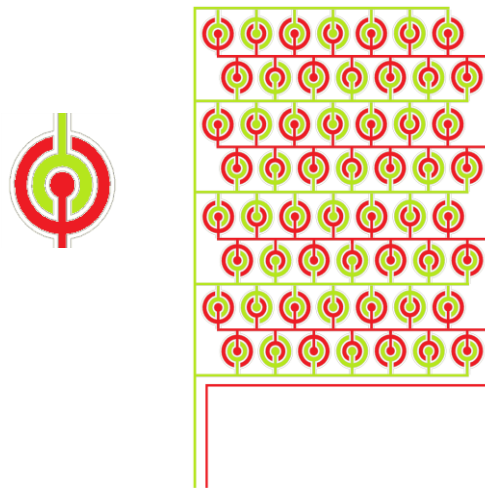


Figura 19. Célula unitária do protótipo (imagem à esquerda) que ao ser multiplicada (imagem à direita) permite formar um módulo ou até o sobre-colchão inteiro de pressão alternada.

Para a aplicação do modelo que se apresenta na imagem à esquerda da Figura 19 foram colocadas três formas possíveis de utilização: como sobre-colchão de corpo inteiro onde o doente se deita, tal como se observa no mercado; como unidades modulares (Figura 20.a)) que facilmente podem ser deslocados e posicionados apenas nas zonas desejadas sem expor desnecessariamente o resto do corpo do doente à movimentação do colchão e ainda como pequenos módulos adaptáveis (Figura 20.b)) a zonas sensíveis como por exemplo aos cotovelos ou calcanhares mesmo quando o doente se encontra deitado.

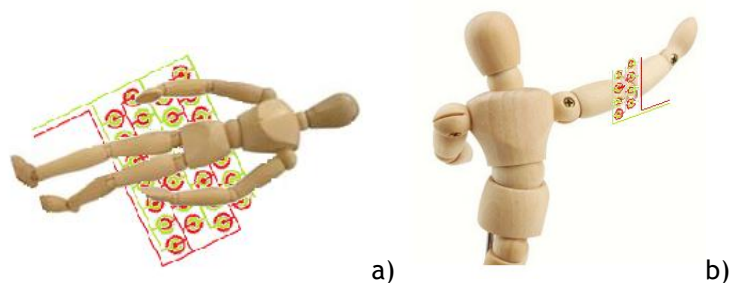


Figura 20. a) Unidade modular aplicada na zona da anca. b) Utilização do mesmo mecanismo com aplicação numa escala menor, neste caso no cotovelo onde o dispositivo envolverá a articulação do mesmo. A zona de aplicação de a) ou b) pode variar em ambos os casos.

4.3. Desenvolvimento do protótipo do sobre-colchão em PVC

Tendo em conta a pesquisa de produtos que possuam as características funcionais como as que se pretendem desenvolver, e que estejam devidamente autorizados, cumpram as normas de segurança exigidas e que já se encontram disponíveis no mercado, verifica-se que o material escolhido para o fabrico de protótipos é a tela de PVC (Figura 21).

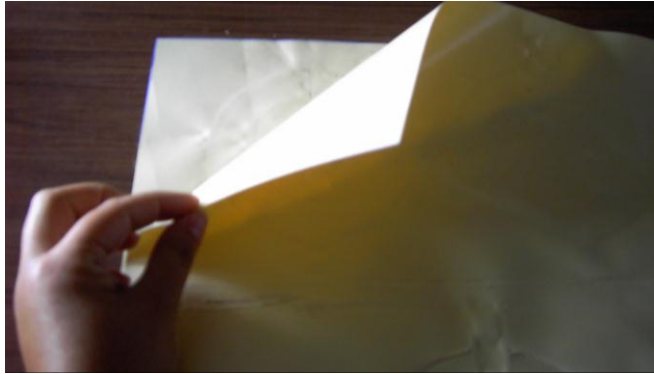


Figura 21. Telas de PVC utilizadas na construção do protótipo do sobre-colchão.

Com base na projecção da célula (imagem da esquerda da Figura 19) foram soldadas em cobre as zonas que fazem a separação dos circuitos de ar (imagem da esquerda da Figura 22). O molde criado apresenta as dimensões apresentadas na imagem da direita da Figura 22.

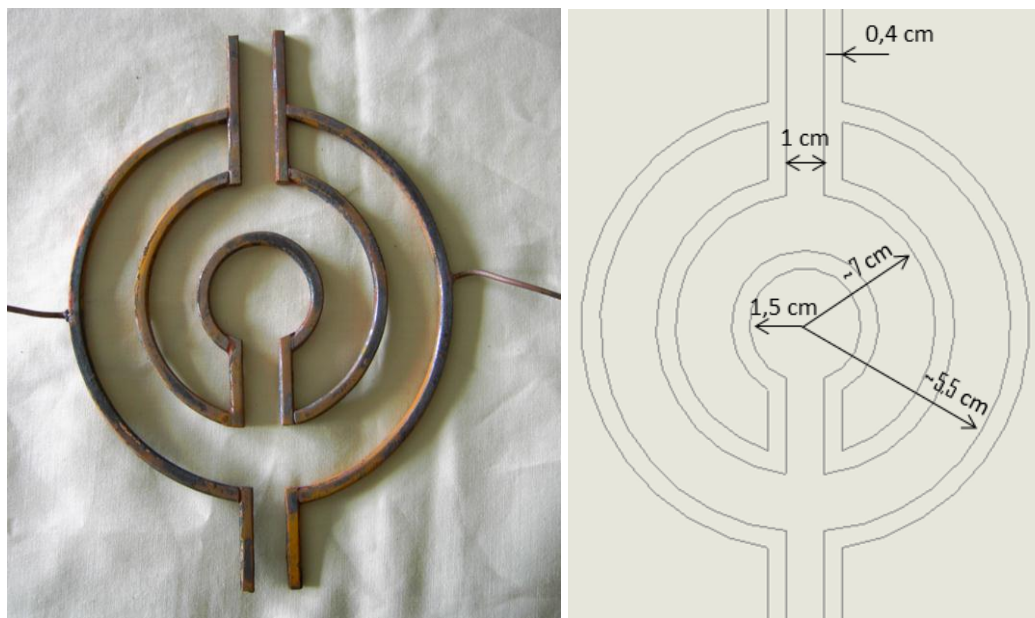


Figura 22. Molde em cobre da célula utilizado para soldar as telas de PVC (à esquerda). Dimensões do molde em cobre para construção do protótipo (à direita).

Uma vez que as telas de PVC utilizadas nas inúmeras aplicações podem ser unidas por soldagem com ar quente ou através de máquinas que fazem uso da alta frequência, o melhor método utilizado, tendo em conta os recursos disponíveis, foi a colocação do molde de cobre na base de um ferro de passar a roupa (Figura 23) que transmitia o calor ao molde. Estando bem aquecido o molde, foi colocado um pano entre a tela de PVC superior e o ferro (Figura 24) para evitar que a tela derretesse com excesso de calor e contacto directo com o ferro. O ferro foi pressionado durante alguns segundos para proporcionar a aderência entre as duas telas de PVC. O pano foi retirado (Figura 25), passando para a célula seguinte mas invertendo o ferro 180° tal como mencionado anteriormente.



Figura 23. Aplicação do molde em cobre na base do ferro de passar a roupa.



Figura 24. Colocação do pano entre o ferro e a tela superior de PVC para evitar o derretimento da tela. Após a colocação do pano é feita pressão no ferro para que as telas de PVC possam ficar unidas o melhor possível.



Figura 25. Remoção do tecido que se colocou para protecção da tela de PVC.

Na Figura 19 (imagem à direita), verifica-se a ligação das várias células através de canais. No protótipo de PVC desenvolvido, os canais que permitem a ligação de células do mesmo circuito foram criados com a ajuda da esquina da base do ferro que passava em linhas desenhadas, tal como mostra a Figura 26.

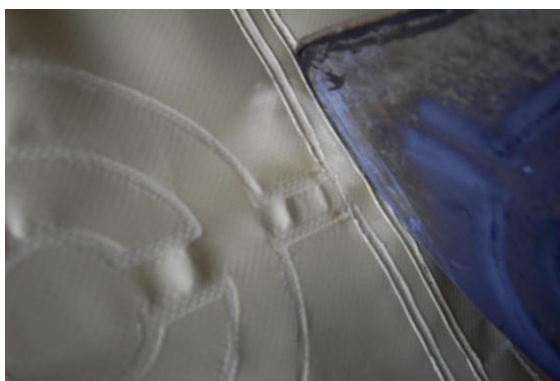


Figura 26. Construção dos canais de distribuição de ar e de comunicação entre células do mesmo circuito.

No fim da soldagem das células e canais de distribuição, o protótipo em PVC estava concluído, podendo ser observado na Figura 27.



Figura 27. Protótipo do sobre-colchão em PVC finalizado. As setas a vermelho e verde indicam a entrada do ar para os dois circuitos pneumáticos presentes no protótipo.

4.4. Funcionamento geral do sistema de prevenção de escaras

Pode-se definir um sistema de prevenção de escaras como sendo o conjunto formado pelo sobre-colchão; o compressor; as electroválvulas; e as tubagens que interligam as várias partes do sistema. A sequência de operações é controlada com a ajuda de um microcontrolador, o MSP430G2231, programado através de uma ferramenta de desenvolvimento da Texas Instruments, tal como se descreve na Figura 28 e na Figura 29.

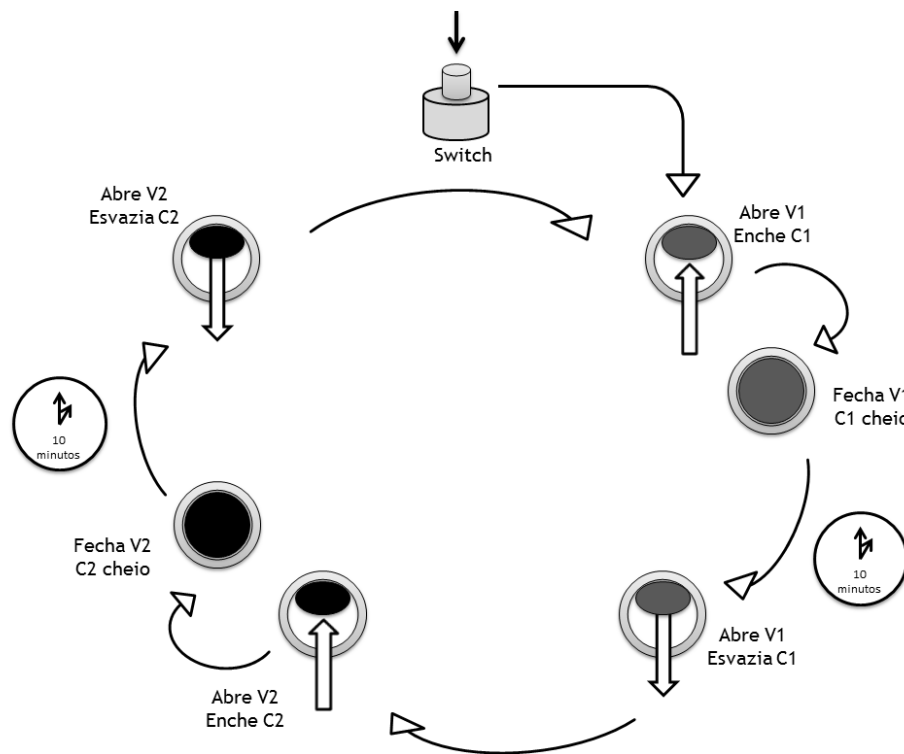


Figura 28. Funcionamento do sobre-colchão em modo alternado. Ao se pressionar um botão (Switch), o ciclo de enchimento alternado entre o circuito 1 e o circuito 2 é iniciado. Do lado direito está representado o enchimento do circuito 1 (C1) e do lado esquerdo o do circuito 2 (C2). Após o enchimento de C1, a electroválvula V1 fecha permitindo que o ar se mantenha neste circuito durante 10 minutos. Terminando os 10 minutos, a electroválvula V1 abre, deixando o ar sair. Logo de seguida é iniciado, do mesmo modo, o enchimento do circuito pneumático C2 durante um período igual de 10 minutos.

Para além do modo alternado, o sobre-colchão poderá ainda funcionar em modo estático, ou seja, ao invés de cada zona encher separadamente, o utilizador poderá ordenar o enchimento dos dois circuitos em simultâneo, e mantê-los cheios por tempo indefinido. A passagem do modo alternado para modo estático ocorre quando um segundo botão é pressionado. Esta possibilidade é apresentada na Figura 29.

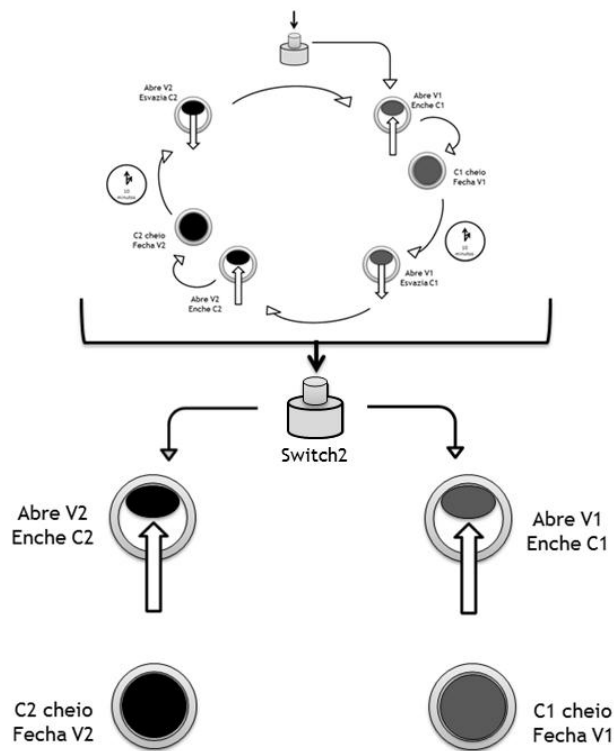


Figura 29. Funcionamento do sobre-colchão em modo estático. Em qualquer momento do funcionamento em modo alternado, pressionando um segundo botão (Switch2), os circuitos C1 e C2 enchem permanecendo nesse estado até que seja dada ordem para desligar.

A gestão do funcionamento do sobre-colchão em modo alternado e modo estático é realizado pela ferramenta de estudo Launchpad da Texas Instruments (Figura 30). Esta plataforma de desenvolvimento é programada através do Software Code Composer Studio. Dois LED (*Light-emitting Diode*) de cor diferentes simbolizavam o enchimento e permanência dos circuitos com ar. O desenvolvimento do programa utilizado e ferramentas são descritos nos anexos I, II, III e IV.

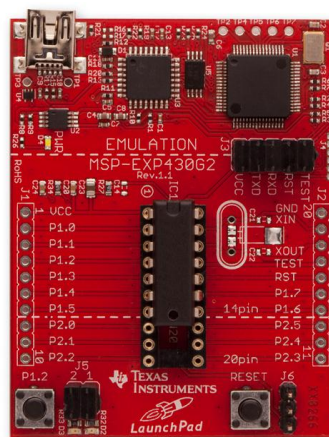


Figura 30. Ferramenta de trabalho Launchpad MSP- EXP430G2231.

4.4.1. Máquina de estados finita

O sistema de desenvolvimento Launchpad dispõe de dois LED que são utilizados para indicar o estado de cada circuito pneumático (Figura 31). Através da activação do LED verde faz-se saber que o circuito pneumático C1 está cheio. Do mesmo modo, o LED vermelho indica que o circuito pneumático C2 está cheio. Tal com a Figura 28 e Figura 29 demonstram, o funcionamento em modo alternado, ou modo estático, depende da utilização de dois botões, de um relógio que temporiza, em 10 minutos, a permanência de cada estado, além de um outro que permite a passagem de alguns estados para outros.

No microcontrolador serão tidas em conta duas entradas e duas saídas, as primeiras são os botões Switch e Switch2, e as saídas são os LED verde e vermelho. Estas mesmas saídas são utilizadas para comandar fisicamente o estado das electroválvulas como veremos mais adiante.

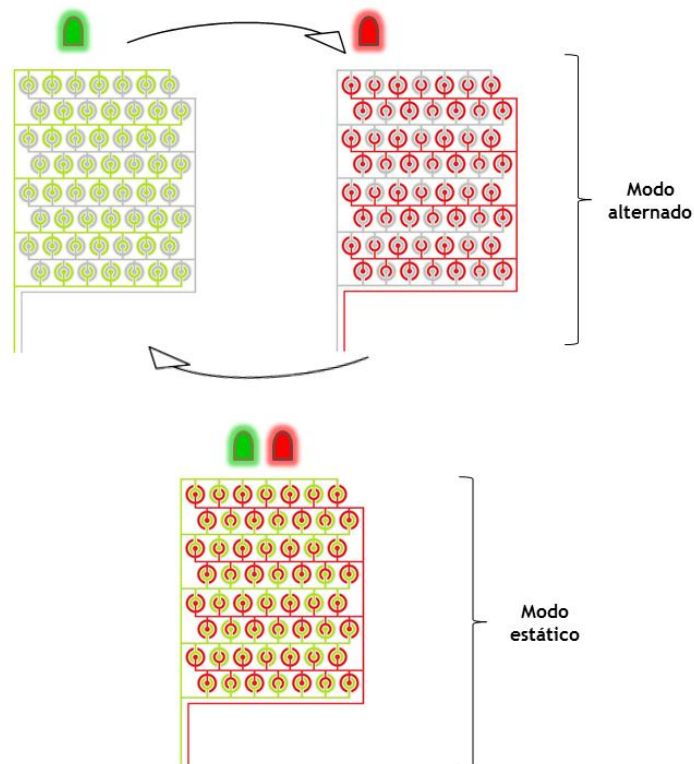


Figura 31. Activação do LED verde ou vermelho de acordo com o modo de funcionamento, alternado ou estático. No modo alternado apenas está cheio o circuito pneumático cujo LED esteja activo, enquanto que no modo estático os dois LED se encontram activos indicando que os dois circuitos pneumáticos estão cheios.

O funcionamento de cada circuito pneumático do sobre-colchão e a alternância entre estados são controlados por uma máquina de estados finita. Uma máquina de estados finita é um conjunto de acções combinadas que controlam um comportamento, que neste caso é a activação/inactivação de duas saídas digitais. Este sistema é composto por um número finito de estados, um conjunto de eventos (interrupções) e acções que descrevem o que acontece num determinado momento. A transição entre estados ocorre devido às interrupções geradas pelos eventos e a acção iniciada depende do estado actual. A máquina de estados finita a desenvolver nesta situação, considera quatro estados e três eventos e é gerada por uma aplicação em Excell - FSMGenerator - onde se indicam os estados, os eventos e as funções de transição necessárias para o objectivo traçado.

ESTADOS:

State0 - o equipamento encontra-se em modo standby, aguardando ordens de um dos botões, permitindo um o início do modo alternado e outro do modo estático.

State1 - ocorre o enchimento do circuito pneumático verde (C1).

State2 - enchimento do circuito pneumático vermelho (C2).

State3 - enchimento simultâneo do circuito pneumático verde (C1) e circuito pneumático vermelho (C2).

EVENTOS:

Timer - relógio utilizado para contar 10 minutos em que os circuitos pneumáticos permanecem cheios de ar.

Switch - botão S2 associado ao porto de entrada/saída digital P1.3 que permite passar do State0 para o State1 e do State1 ou State2 para o State0, ou seja, iniciar e desligar o enchimento alternado, respectivamente.

Switch2 - botão externo à placa, associada ao porto de entrada/saída digital P1.4, que ao ser pressionado dará a ordem de transição para o modo estático ou para o State0, estando em qualquer um dos estados do modo alternado ou no State3, respectivamente.

O estado dos LED, nos modos de funcionamento do sobre-colchão difere. Os vários estados da máquina que faz a gestão do funcionamento são apresentados na Tabela 6. Deveremos tomar em atenção que o LED verde está associado ao porto de entrada/saída digital P1.0 e que o LED vermelho ao porto de entrada/saída digital P1.6.

Tabela 6. Tabela de transição de estado dos LED durante o funcionamento do sobre-colchão.

P1 \	7	6	5	4	3	2	1	0
State0	0	0	0	0	0	0	0	0
State1	0	0	0	0	0	0	0	1
State2	0	1	0	0	0	0	0	0
State3	0	1	0	0	0	0	0	1

Os estados descritos na Tabela 6 são representados no diagrama da Figura 33.

O funcionamento da máquina de estados é iniciado no State0 (StandBy). A passagem para os outros três estados possíveis depende das interrupções geradas pelos dois botões ao dispor do utilizador (Switch e Switch2) ou pelo Timer que faz a transição do State1 para o State2, e vice-versa, no decorrer do funcionamento do modo alternado.

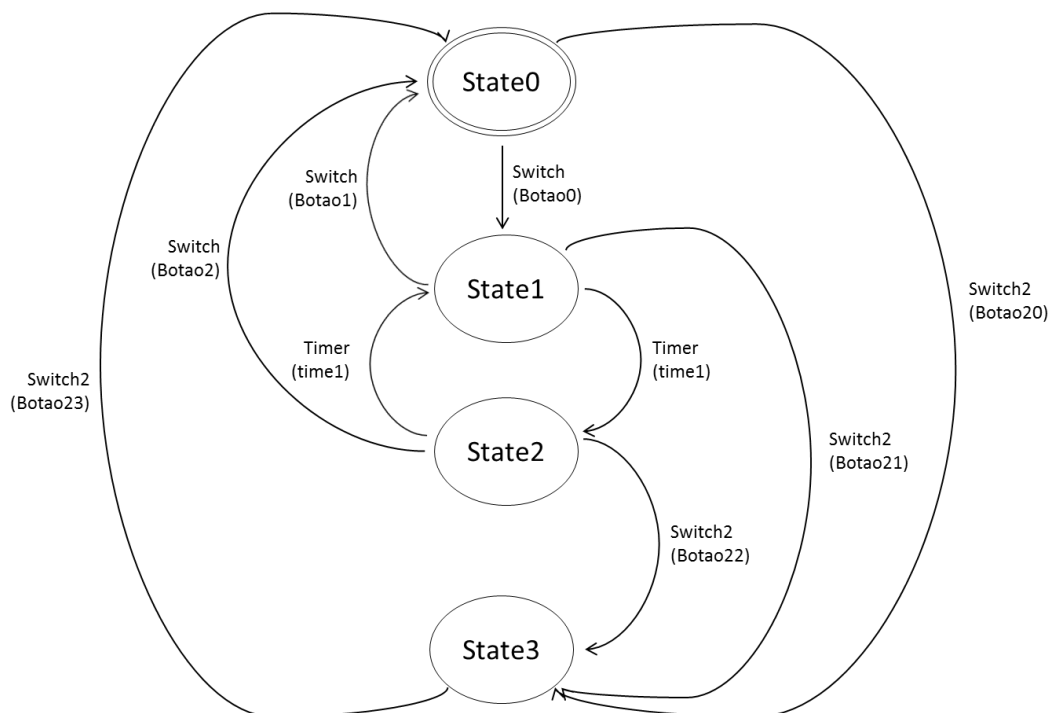


Figura 32. Diagrama de transição de estados aquando do funcionamento da máquina de estados finita.

É possível na Figura 33 identificar de forma clara os quatro estados e os três eventos presentes no funcionamento da máquina de estados. Os estados e eventos necessários são definidos no FSMGenerator, assim como as funções de ligação que estão entre parêntesis no diagrama de transição de estados (Figura 32).

		Timer		Switch		Switch2		Event3		Event4
	Function	Next State	Function	Next State	Function	Next State	Function	Next State	Function	
State0		State0	Botao0	State1	Botao20	State3				
State1	time1	State2	Botao1	State0	Botao21	State3				
State2	time2	State1	Botao2	State0	Botao22	State3				
State3		State3		State3	Botao23	State0				
State4										
State5										
State6										
State7										

Figura 33. Tabela da máquina de estados finita no FSMGenerator.

4.4.2. Desenvolvimento do projecto com suporte Grace

Após a configuração correcta do FSMGenerator (Figura 33) e de carregar no botão “Generate Code”, são gerados três ficheiros - *fsm.c*, *fsm.h* e *fsm_transition.c*. No ficheiro *fsm.c* (Anexo I) são definidas as variáveis globais, inicializada a máquina de estados com o State0 e indicada a função dos três eventos: Timer, Switch e Switch2. No ficheiro *fsm.h* (Anexo II), o FSMGenerator declarou todas as funções que fazem funcionar a máquina de estados. No ficheiro *fsm_transition.c* (Anexo III) são implementadas todas as funções executadas aquando dos estados. Os ficheiros *fsm.c*, *fsm.h* e *fsm_transition.c* são integrados num projecto “vazio”, com suporte Grace (Figura 34), criado no software Code Composer Studio, disponibilizado pela TI.

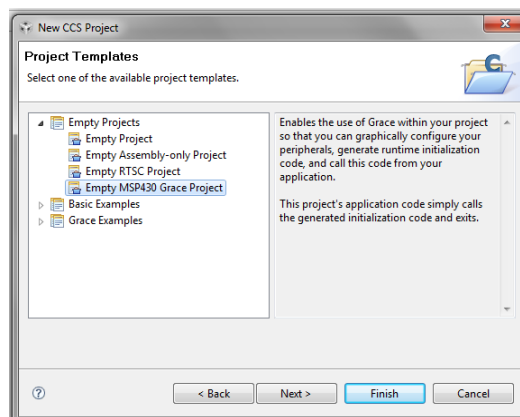


Figura 34. Criação de um projecto “vazio” Grace.

Criando um projecto com suporte Grace, o utilizador tem a possibilidade de configurar os periféricos do microcontrolador de forma mais intuitiva, tal como se pode observar na Figura 35, onde estão representados os periféricos do microcontrolador.

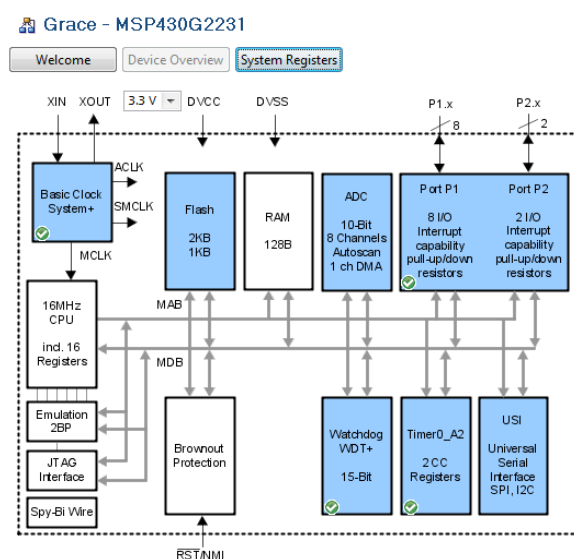


Figura 35. Visualização gráfica dos periféricos do MSP430G2231 no projecto com suporte Grace. Os módulos sinalizados com um visto a verde são aqueles que necessitam de ser configurados de acordo com as exigências do projecto.

A configuração de cada um dos periféricos utilizados para a aplicação que se pretende desenvolver é apresentada de seguida.

BASIC CLOCK SYSTEM

O sistema de relógio no microcontrolador pode ser configurado de modo a funcionar sem a presença de componentes externos. O oscilador interno controlado digitalmente (Internal DCO) foi configurado para funcionar a uma frequência de 1150 kHz (~1.1 MHz). A configuração deste periférico pode ser feita a qualquer momento durante a configuração do programa, sendo vantajoso quando se deseja alterar o funcionamento do relógio de acordo com as necessidades.

BCS+ - Power User Mode

Configure Clock Source

Internal High Speed Clock Source

Internal DCO[®] 1150.0 kHz

Pre-calibrated DCO Values Custom

Disable DCO

Low Speed External Clock Source 1

Select Clock Source** 32.768 kHz

XT1 32.768 kHz

Int. Load Eff. Capacitance ~6 pF

External Digital Source

** This setting requires an external crystal

Select Clock Source

Clock Source: DCOCLK → Divider: Divide by 1 → Main System Clock (MCLK) 1150 kHz

Clock Source: DCOCLK → Divider: Divide by 1 → Sub System Clock (SMCLK) 1150 kHz

Output SMCLK: SMCLK Output OFF

Clock Source from Low Speed External Clock Source 1 → Divider: Divide by 1 → Auxiliary Clock (ACLK) 32.77 kHz

Output ACLK: ACLK Output OFF

Oscillator Fault Interrupt Enable

Oscillator Fault Interrupt Handler: []

After Interrupt: Do Not Change Operating Mode

Figura 36. Configuração do BCS.

WATCHDOG TIMER (WDT)

O Watchdog Timer é um módulo que faz o reset automático do sistema se algum problema surgir. Para que não ocorra um reset ao sistema por causa do Watchdog, este deve ser imobilizado (Figura 37).

WDT+ - Power User Mode

WDT+ Mode Select

Stop Watchdog Timer
Interval Timer Mode
Watchdog Timer Mode

Enable Watchdog Timer Interrupt
 Interrupt Handler:
 After Interrupt: Do Not Change Operating Mode

RST/NMI Pin Configuration

RST/NMI Pin Functionality:

Reset function
 NMI function

Enable NMI Interrupt
 NMI Edge Select: NMI Rising Edge
 NMI Falling Edge
 Interrupt Handler:
 After Interrupt: Do Not Change Operating Mode

Figura 37. Configuração do WDT.

TIMER

No Timer_A2 foi escolhido como fonte de relógio o sinal ACLK, ou relógio auxiliar, pois este possibilita um funcionamento do sistema com um consumo energético mais reduzido. A contagem do tempo é realizada em modo crescente (Up Mode). Na Figura 38 visualiza-se o interface de configuração do Timer_A2, neste caso, o tempo que o relógio irá contar será 1000ms. Outros períodos de contagem poderão ser utilizados. Este periférico gera uma interrupção servida pela função Timer_Handler(), que terá como tarefa na aplicação desenvolvida, contabilizar o tempo de a transição entre estados.

Timer_A2 - 16-bit Timer - Power User Mode - CCR0

16-bit Timer/Counter

Clock Source: TACLK
 Divider: Divider - /1
 32.768 kHz
 Counting Mode: Up Mode

Enable Timer Overflow Interrupt
 Interrupt Handler:
 After Interrupt: Do Not Change Operating Mode

Timer Capture/Compare Block #0

Desired Timer Period: 1000.0 ms Time(r) Period: 1 s
 Capture Register: 32769 Clock Ticks Time(r) Frequency: 1 Hz

Input Selection	Capture Mode	Mode	Output Pins
CC Input OFF P1.1/Timer_A2.CC0A GND VCC	No Capture Rising Edge Falling Edge Both Edges	Timer OFF Output Compare/Period Input Capture	TA0 Output OFF P1.1/Timer_A2.TA0 P1.5/Timer_A2.TA0

Output Mode: PWM output mode: 0 - OUT bit value Set OUT bit High/Low

Enable Capture/Compare Interrupt
 Interrupt Handler: Timer_Handler
 After Interrupt: Do Not Change Operating Mode

Figura 38. Configuração do Timer_A2.

GPIO - GENERAL PURPOSE INPUT OUTPUT

Neste módulo são configuradas as linhas dos portos digitais de entrada saída que serão designadas como entradas, originando interrupções que alteram o estado actual da máquina de estados. Por exemplo, os botões Switch e Swtich2 são entradas do sistema, pois ao serem pressionados provocam uma transição de estados durante o funcionamento do sobre-colchão. Os botões são configurados como entradas no registo de direcção (Direction Register) estando com o bit igual a zero. No Interrupt Enable Register os portos digitais P1.3 e P1.4 ligados aos botões Switch e Swtich2, respectivamente, são configurados para poderem gerar interrupções.

GPIO - Port 1 / Port 2 - Register Controls

PORT 1

Output Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Direction Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Interrupt Flag Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Interrupt Edge Select Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Interrupt Enable Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Port Select Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Resistor Enable Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Interrupt Handler:

After Interrupt:

PORT 2

Output Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Direction Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Interrupt Flag Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Interrupt Edge Select Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Interrupt Enable Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Port Select Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Resistor Enable Register

7	6	5	4	3	2	1	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Interrupt Handler:

After Interrupt:

Figura 39. Configuração dos portos de saída e entrada.

Depois da configuração dos periféricos, adicionaram-se os ficheiros *fsm.c*, *fsm.h* e *fsm_transition.c* ao projecto. As funções geradas automaticamente foram completadas com as instruções necessárias para o funcionamento correcto da simulação do sobre-colchão através da activação e desactivação dos LED verde e vermelho que indicam o enchimento de cada circuito de ar.

4.5. Funcionamento electropneumático do sobre-colchão

Um sistema pneumático na área da mecânica é caracterizado por um conjunto de elementos responsáveis pela transmissão de energia aos circuitos necessários à sua transformação. O trabalho desejado é conseguido através das funções diferentes que os vários elementos possuem. Alguns dos elementos essenciais ao funcionamento de um sistema pneumático são: o ar para a transmissão da pressão e do conseqüente movimento; o reservatório que armazena o ar; o compressor que o comprime; as electroválvulas que orientam o ar e fazem o controlo da pressão do mesmo; um motor pneumático que converte a força transmitida pelo ar em energia mecânica; os filtros de ar; e os tubos que fazem o transporte do ar entre os diferentes elementos do sistema [73].

O sobre-colchão pode ser comparado a um sistema pneumático na medida em que o colchão de PVC contém circuitos para onde o ar comprimido, gerado por um compressor, é encaminhado e é mantido durante um período de tempo e de forma alternada para que seja feito um suporte adequado do doente. A ligação do PVC ao compressor é realizada através tubos em PVC, e a distribuição do ar pelos dois circuitos pneumáticos é conseguida com o uso de electroválvulas (Figura 40).

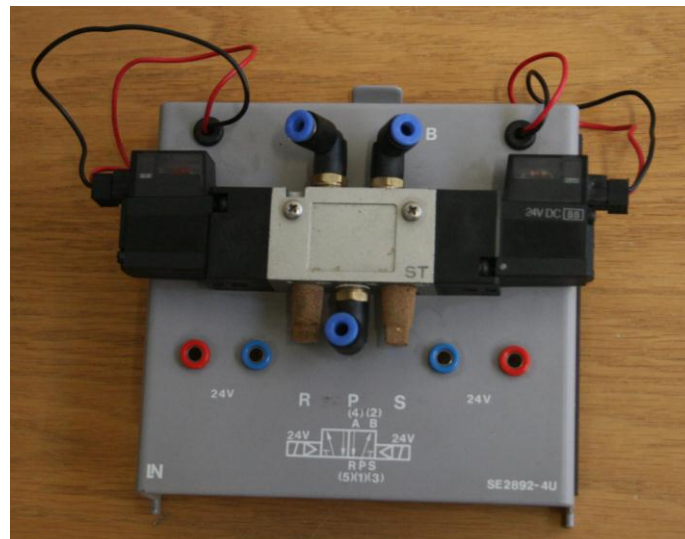


Figura 40. Possível electroválvula direcciona a utilizar para permitir o enchimento alternado do sobre-colchão.

Com recurso a uma electroválvula direccionada de 5/2 vias (5 vias e 2 posições) e um circuito electrónico como o que se representa na Figura 41 é possível interligar a saída digital do microcontrolador a um transistor para controlar a tensão de entrada de 24V da electroválvula. Será possível utilizar o programa desenvolvido anteriormente no Code Composer para controlar o funcionamento alternado do sobre-colchão.

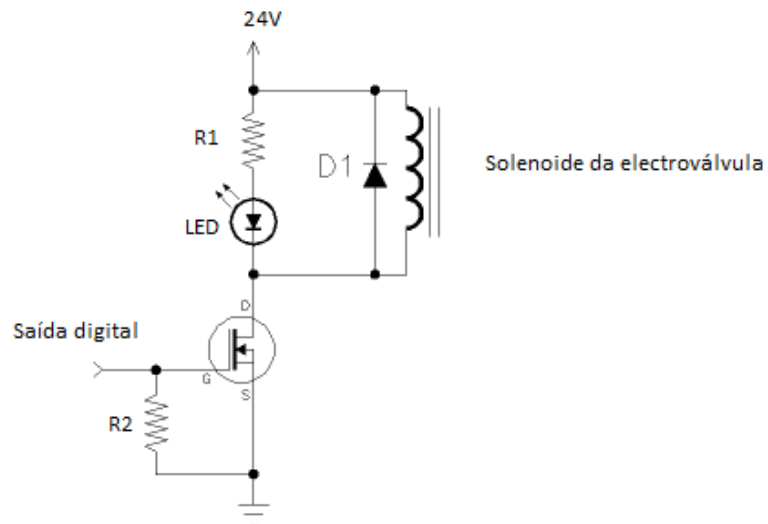


Figura 41. Circuito de interface entre o microcontrolador e o solenóide da electroválvula.

Capítulo 5

5.1. Discussão e conclusão

Esta dissertação reflecte o trabalho de uma pesquisa onde se verifica que a promoção da saúde e do bem-estar de todas as pessoas é algo valioso. Várias são as entidades envolvidas que cooperam na forma de proporcionar as tecnologias necessárias. Destacamos em especial a área da gerontologia como aglutinadora deste esforço. Bolander disse que *"Assim como existe uma forma saudável de definir e viver a doença, existe um desafio constante para manter e representar positivamente o estado de saúde"* [74]. A pesquisa desenvolvida mostrou que a saúde dos doentes acamados e pessoas incapazes de se movimentarem por si próprias é gravemente afectada se os cuidados prestados não forem os indicados. O estado de saúde destas pessoas pode ser melhorado se houver uma atitude preventiva no sentido de manter ou melhorar o mesmo. Exemplo disto é o uso de dispositivos médicos como sobre-colchões de pressão alternada que procuram combater o aparecimento das úlceras de pressão. Assim, o objectivo desta dissertação foi estudar, avaliar e validar um conjunto de tecnologias, técnicas e métodos que permitam desenvolver um dispositivo desta natureza. Esta análise compreendeu o estudo do funcionamento electropneumático, a programação de unidades microprocessadas responsáveis pela gestão do modo de funcionamento do sobre-colchão, o desenho dos circuitos pneumáticos de ar.

Foi criado o protótipo do sobre-colchão com tela de PVC de forma manual com a geometria pretendida das células que compõem os circuitos pneumáticos. Com ferramentas básicas, acessíveis e de baixo custo foi possível não só a construção do sobre-colchão em PVC mas também o desenvolvimento do firmware que gere este dispositivo médico com o auxílio de electroválvulas que controlam a passagem de ar proveniente do compressor que alimenta os circuitos pneumáticos. Quanto ao firmware desenvolvido, os três modos de enchimento dos circuitos pneumáticos que se pretendiam foram alcançados com sucesso e observados através do estado de activação dos LED.

A dificuldade encontrada perante a realização da parte prática foi a falta de ferramentas mais adequadas, por exemplo, na soldagem das telas de PVC pois as junções revelaram-se frágeis aquando do insuflar dos circuitos pneumáticos.

Apesar de se ter conseguido criar o protótipo com ferramentas básicas, o funcionamento real do que foi obtido não foi possível, mostrando assim que para uma possível aplicação prática no futuro, a colaboração com uma fábrica ou entidade capaz de desenvolver colchões em tela de PVC será o mais indicado.

5.2. Perspectivas futuras

O tratamento de feridas como as apresentadas nos capítulos anteriores tem um custo tanto económico como pessoal elevado. Observando estes factores, a possibilidade de prevenir o aparecimento das úlceras é uma grande vantagem. O trabalho até aqui desenvolvido poderá ser a base para a construção do dispositivo médico completo - sobre-colchão de pressão alternada - que ao funcionar com o programa concebido poderá contribuir para diminuir os custos de aquisição.

Se este equipamento for utilizado em hospitais, clínicas, lares ou instituições que necessitem deste tipo de equipamento médico para vários doentes, a monitorização de cada colchão à distância seria uma vantagem. Como estamos inseridos num mundo onde quase todas as actividades têm o suporte das novas tecnologias, uma aplicação em plataformas móveis que permitam o controlo/regulação do equipamento seria uma mais-valia pois aproximaria o prestador de cuidados ao doente. O trabalho do enfermeiro ou médico seria também facilitado na medida em que o acesso através desta ligação aos valores das pressões de ar do colchão poderia ser feito em qualquer lugar do edifício hospitalar ou clínico, podendo ainda alterar as condições de funcionamento sem ter que se deslocar à cama.

Além da utilização primária para a qual foi concebido o colchão, a alteração dos pontos de pressão no doente, outras funções poderiam ainda ser adicionadas ao colchão tais como a medição e monitorização de sinais vitais, ou a recolha de dados para estudos científicos, etc. No caso da medição e monitorização de sinais vitais, o enfermeiro seria informado, por um sinal de alerta, na eventualidade de surgir alguma alteração significativa nos valores medidos.

Quanto à geometria da célula apresentada, estudos clínicos poderão ser feitos para determinar se a nova disposição dos circuitos pneumáticos apresenta vantagens em relação aos usuais.

Bibliografia

- [1] K. Christensen, *et al.*, "Ageing populations: the challenges ahead," *The Lancet*, vol. 374, pp. 1196-1208, 2009.
- [2] B. D. Weiss and M. J. Fain, "Geriatric education for the physicians of tomorrow," *Archives of Gerontology and Geriatrics*, vol. 49, Supplement 2, pp. S17-S20, 2009.
- [3] G. Kolb, *et al.*, "Geriatric care in Europe - the EUGMS Survey part I: Belgium, Czech Republic, Denmark, Germany, Ireland, Spain, Switzerland, United Kingdom," *European Geriatric Medicine*, vol. 2, pp. 290-295, 2011.
- [4] A. J. Cruz-Jentoft, *et al.*, *European silver paper on the future of health promotion and preventive actions, basic research and clinical aspects of age related disease*, 2008.
- [5] J. M. R. Casado, "The history of geriatric medicine. The present: Problems and opportunities," *European Geriatric Medicine*, 2012.
- [6] C. K. Cassel, *Geriatric Medicine: an evidence-based approach*: Springer Verlag, 2003.
- [7] M. M. S. Leduc, "Imobilização e Síndrome da Imobilização," in *Tratado de Geriatria e Gerontologia*, E. V. d. Freitas, *et al.*, Eds., Segunda ed: Guanabara Koogan, 2006, pp. 972-980.
- [8] A. Pereira, *et al.*, "Geriatria, uma especialidade centenária," *Scient Méd*, vol. 19, pp. 54-61, 2009.
- [9] K. L. Dominick, *et al.*, "Health-related quality of life and health service use among older adults with osteoarthritis," *Arthritis Care & Research*, vol. 51, pp. 326-331, 2004.
- [10] B. R. Troen, "The biology of aging," *Mount Sinai Journal of Medicine*, vol. 70, pp. 3-22, 2003.
- [11] C. So and E. Pierluissi, "Attitudes and expectations regarding exercise in the hospital of hospitalized older adults: a qualitative study," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 60, pp. 713-8, 2012 Apr (Epub 2012 Mar 2012).
- [12] N. Brahmhatt, *et al.*, "Early mobilization improves functional outcomes in critically ill patients," *Critical Care*, vol. 14, p. 321, 2010.
- [13] C. S. Perme, *et al.*, "Early mobilization of LVAD recipients who require prolonged mechanical ventilation," *Texas Heart Institute Journal*, vol. 33, p. 130, 2006.
- [14] P. Kortebein, *et al.*, "Effect of 10 days of bed rest on skeletal muscle in healthy older adults," *JAMA: the journal of the American Medical Association*, vol. 297, pp. 1772-1774, 2007.
- [15] M. Iannuzzi-Sucich, *et al.*, "Prevalence of sarcopenia and predictors of skeletal muscle mass in healthy, older men and women," *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, vol. 57, pp. M772-M777, 2002.
- [16] P. de Nicola and A. Ribeiro, *Geriatrics*: D.C. Luzzatto, 1986.
- [17] R. R. Seeley, Stephens, Trente D., Tate, Philip Ed., *Anatomia e Fisiologia 6ed.*: McGraw Hill Companies, Inc., 2003, p.^pp. Pages.
- [18] D. W. Collison. (2008). *Pressure Sores*. Available: http://www.merckmanuals.com/home/skin_disorders/pressure_soers/pressure_soers.html
- [19] C. V. C. Bouten, "Literature review in behalf of the research project Etiology of pressure sores, conducted by the department of Computational and Experimental Mechanics of the Eindhoven University of Technology, in co-operation with the department of Movement Sciences of the University of," 1996.
- [20] D. Bliss, "Anatomy: The Skin," N. C. Institute, Ed., ed, 2010.
- [21] P. S. Timiras, *Physiological Basics of aging Geriatrics*, 4 ed.: informa healthcare, 2007.
- [22] E. P. U. A. P. EPUAP and N. P. U. A. P. NPUAP, "Prevention and Treatmente of pressure ulcers: quick reference guide," N. P. U. A. Panel, Ed., ed. Washington DC 2009.
- [23] (2002). *Infection from Bed Sores*. Available: http://www.nursing-home-abuse-resource.com/care_center/bedsore-infection.html
- [24] J. L. Zeller, *et al.*, "Pressure ulcers," *JAMA: the journal of the American Medical Association*, vol. 296, p. 1020, 2006.

- [25] M. D. Redelings, *et al.*, "Pressure ulcers: more lethal than we thought?," *Advances in Skin & Wound Care*, vol. 18, p. 367, 2005.
- [26] R. J. Moskowitz. (2010). *Areas where bedsores occur*. Available: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/imagepages/19091.htm>
- [27] K. Vanderwee, *et al.*, "Alternating pressure air mattresses as prevention for pressure ulcers: A literature review," *International journal of nursing studies*, vol. 45, pp. 784-801, 2008.
- [28] (2008). *Pressure Ulcers*. Available: <http://www.virtualmedicalcentre.com/diseases.asp?did=800&title=pressure-ulcers>
- [29] C. Gorecki, *et al.*, "Patient-Reported Pressure Ulcer Pain: A Mixed-Methods Systematic Review," *Journal of Pain and Symptom Management*, vol. 42, pp. 443-459, 2011.
- [30] H. Brem, *et al.*, "High cost of stage IV pressure ulcers," *The American Journal of Surgery*, vol. 200, pp. 473-477, 2010.
- [31] (2011). *Skin & Pressure Sore Care, Treatment & Prevention after Spinal Cord Injury*. Available: http://www.sci-info-pages.com/skin_pres2.html
- [32] A. Ahmed, *et al.* (2009). *Pressure Ulcer*. Available: <http://www.logicalimages.com/publicHealthResources/pressureUlcer.htm>
- [33] N. P. U. A. Panel. (2007). *Pressure Ulcer Prevention Points*. Available: http://www.npuap.org/PU_Prev_Points.pdf
- [34] J. M. G. A. Schols, *et al.*, "Nutritional support in the treatment and prevention of pressure ulcers: An overview of studies with an arginine enriched Oral Nutritional Supplement," *Journal of Tissue Viability*, vol. 18, pp. 72-79, 2009.
- [35] M. F. D. V. Marini, "Úlceras de Pressão," in *Tratado de Geriatria e Gerontologia*, E. V. d. Freitas, *et al.*, Eds., Segunda ed: Guanabara Koogan, 2006, pp. 982-992.
- [36] C. N. Kirman and J. A. Molnar. (2010). *Pressure Ulcers, Nonsurgical Treatment and Principles Treatment & Management*. Available: <http://emedicine.medscape.com/article/1293614-treatment>
- [37] BAPRAS. (30 de Dezembro de 2011). *Pressure sores - patient information guide*. Available: <http://www.bapras.org.uk/guide.asp?id=320>
- [38] B. J. Wilhelmi and M. Neumeister. (2010). *Surgical Treatment of Pressure Ulcers Treatment & Management*. Available: <http://emedicine.medscape.com/article/1293724-treatment>
- [39] N. Cullum, *et al.*, "Beds, mattresses and cushions for pressure sore prevention and treatment," *The Cochrane Library*, 2000.
- [40] R. Bargar. (2003-2011). *What Are the Different Types of Pressure Ulcer Treatment?* Available: <http://www.wisegeek.com/what-are-the-different-types-of-pressure-ulcer-treatment.htm>
- [41] V. Falanga and R. Williams. (2001). *Overview of Wound Bed Preparation*. Available: http://www.medscape.com/viewarticle/430899_2
- [42] (2011). *Comfeel® Ulcer Care Hydrocolloid Dressing*. Available: <http://www.spartanmedicalsupply.com/shop/list.html?perPage=6&IC=13&categ=236&alpha=>
- [43] Medindia. *Pressure Ulcers - Pressure reducing devices*. Available: <http://www.medindia.net/education/familymedicine/Pressure-Ulcers-reducing-devices.htm>
- [44] N. Pinto. (2010). *Superfícies de apoio "anti-escaras"*. Available: <http://forumenfermagem.org/feridas/category/prevencao/ulceras-de-pressao/>
- [45] P. H. Choice. *Group II Therapeutic Mattress:* . Available: http://www.phc-online.com/Hospital_Bed_Mattress_s/139.htm
- [46] T. Defloor, *et al.*, "The effect of various combinations of turning and pressure reducing devices on the incidence of pressure ulcers," *International journal of nursing studies*, vol. 42, pp. 37-46, 2005.
- [47] S. K. Vyhlidal, *et al.*, "Mattress replacement or foam overlay? A prospective study on the incidence of pressure ulcers," *Applied Nursing Research*, vol. 10, pp. 111-120, 1997.
- [48] sweetcare. *system - Colchão em espuma viscoelástica Anti-escaras - Combiflex*. Available: <http://www.sweetcare.pt/system-colchao-espuma-viscoelastica-anti-escaras-combiflex-p-OP0052SY.aspx>

- [49] F. B. d. S. Benfati. (1998, 2002). *Camas e Colchões*. Available: http://www2.eerp.usp.br/site/grupos/feridasronicas/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=32
- [50] S. S.A. (2006). *COLCHÃO DE ÁGUA W580*. Available: http://www.sorisa.pt/produto.aspx?ido=1675&produto=colch%C3%A3o-de-%C3%A1gua-W580&categoria=Colch%C3%B5es-anti-escaras&id_child=0&m1=70&m2=298&m3=MedicalAirMattress
- [51] MedicalAirMattress. (2010). *GEL MATTRESS QUEEN SIZE 48X78X4*". Available: <http://medicalairmattress.com/mdtmasgel4880.html>
- [52] AlternatingPressureMattress. (2005). *Deluxe Alternating Pressure Pad System*. Available: <http://alternatingpressuremattress.com/apppad.html>
- [53] Infarmed. (2012). *O que são dispositivos médicos?* Available: http://www.infarmed.pt/portal/page/portal/INFARMED/PERGUNTAS_FREQUENTES/DM/#P1
- [54] D.R., "Dispositivo médico," *Diário da República, Decreto-Lei n.º 145/2009 de 17 de Junho*, pp. 3710-3711, 2009.
- [55] Infarmed. (2012). *Como se classificam os dispositivos médicos abrangidos pela Directiva 93/42/CEE, na sua actual redacção transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei n.º 145/2009 de 17 de Junho?* Available: http://www.infarmed.pt/portal/page/portal/INFARMED/PERGUNTAS_FREQUENTES/DM/#P10
- [56] D.R., "Critérios de classificação," *Diário da República, Decreto-Lei n.º 145/2009 de 17 de Junho*, p. 3746, 2009.
- [57] D.R., "II – Requisitos relativos à concepção e ao fabrico," *Diário da República, Decreto-Lei n.º 145/2009 de 17 de Junho*, p. 3749, 2009.
- [58] D.R., "Classificação - Parte I - Dispositivos não invasivos," *Diário da República, Decreto-Lei n.º 145/2009 de 17 de Junho, Anexo IX*, p. 3747, 2009.
- [59] Infarmed. (2012). *O que são dispositivos médicos activos?* Available: http://www.infarmed.pt/portal/page/portal/INFARMED/PERGUNTAS_FREQUENTES/DM/#P2
- [60] D.R., "Dispositivo médico activo," *Diário da República, Decreto-Lei n.º 145/2009 de 17 de Junho*, p. 3711, 2009.
- [61] E. B. Mano, *Polímeros como materiais de engenharia*, 3ª ed.: Editora Edgard Blucher LTDA, 1991.
- [62] G. Latini, *et al.*, "Materials degradation in PVC medical devices, DEHP leaching and neonatal outcomes," *Current medicinal chemistry*, vol. 17, pp. 2979-2989, 2010.
- [63] R. B. Seymour, Ed., *Aditives for Plastics - State of the Art*. Academic Press, INC, 1978, p. ^pp. Pages.
- [64] *PVC for healthcare*. Available: <http://www.savinyls.co.za/pages/5-about-pvc>
- [65] Shergill. (2007). *Care of a Patient with a Gastrostomy Tube*. Available: <http://healthmad.com/healthcare-industry/care-of-a-patient-with-a-gastrostomy-tube/>
- [66] (2008). *Understanding Hematocrit Levels for Blood Donation*. Available: <http://www.anemia.org/patients/feature-articles/content.php?contentid=000243§ionid=..>
- [67] Infarmed. (2010). *Novos requisitos regulamentares aplicável a dispositivos médicos em PVC que contém ftalatos - DL 145/2009 de 17 de Junho*. Available: <http://www.infarmed.pt/portal/pls/portal/docs/1/3916245.PDF>
- [68] X. Zhou, *et al.*, "Binding of phthalate plasticizers to human serum albumin in vitro: A multi-spectroscopic approach and molecular modeling," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012.
- [69] *Directiva n.º. 2007/47/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Setembro*
Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:247:0021:0055:PT:PDF>
- [70] C. MedicalSupplies. *NEOBLOW 8200 TRUE LOW AIR LOSS & DYNAMIC FLOTATION M.R. SYSTEM*. Available: <http://www.cfs-shop.com/pressure-reduction/pressure-reduction-systems/neoblow-8200-true-low-air-loss-dynamic-flotation-m.r.-system>
- [71] C. MedicalSupplies. *EXCEL 2000 - ALTERNATING BUBBLE MATTRESS OVERLAY SYSTEM*. Available: <http://www.cfs-shop.com/pressure-reduction/pressure-reduction-systems/excel-2000-alternating-bubble-mattress-overlay-system>

- [72] C. MedicalSupplies. *EXCEL 4000 - ALTERNATING PRESSURE RELIEF MATTRESS OVERLAY SYSTEM*. Available: <http://www.cfs-shop.com/pressure-reduction/pressure-reduction-systems/excel-4000-alternating-pressure-relief-mattress-overlay-system>
- [73] J. Drapinski, *Hidráulica e pneumática industrial e móvel*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, Ltda, 1977.
- [74] V. B. Bolander, *Enfermagem fundamental: abordagem psicofisiológica*: Lisboa: Lusodidacta, 1998.

Anexo I

Configuração do ficheiro fsm.c

Configuração do ficheiro fsm.c

```
//*****//
// MSP430 state machine
// fsm.c
//
// Description:
//   A simple state machine for the MSP430
//   Do not change code in here!!!
//
// Generated with Excel Table
// Date: 09/18/2012      Time: 19:30:50
//
//*****//

#include <stdint.h>
#include <stdio.h>
#include "fsm.h"

//*****//
// Global variables
//*****//
uint8_t ActState;

const FSM_STATE_TABLE StateTable [NR_STATES][NR_EVENTS] =
{
    NULL, STATE0, FSM_Botao0, STATE1, FSM_Botao20, STATE3,
    FSM_time1, STATE2, FSM_Botao1, STATE0, FSM_Botao21, STATE3,
    FSM_time2, STATE1, FSM_Botao2, STATE0, FSM_Botao22, STATE3,
    NULL, STATE3, NULL, STATE3, FSM_Botao23, STATE0
};

//*****//
// Initialize state machine
//*****//
void FSM_Init (void)
{
    ActState = STATE0;
}

//*****//
// Event function "Timer"
//*****//
void FSM_Timer (void)
{
    if (StateTable[ActState][TIMER].ptrFunc != NULL)
        StateTable[ActState][TIMER].ptrFunc();

    ActState = StateTable[ActState][TIMER].NextState;
}

//*****//
// Event function "Switch"
//*****//
void FSM_Switch (void)
{
    if (StateTable[ActState][SWITCH].ptrFunc != NULL)
        StateTable[ActState][SWITCH].ptrFunc();

    ActState = StateTable[ActState][SWITCH].NextState;
}

//*****//
```

```
// Event function "Switch2"
//*****//
void FSM_Switch2 (void)
{
    if (StateTable[ActState][SWITCH2].ptrFuncnt != NULL)
        StateTable[ActState][SWITCH2].ptrFuncnt();

    ActState = StateTable[ActState][SWITCH2].NextState;
}
//*****//
```

Anexo II

Configuração do ficheiro fsm.h

Configuração do ficheiro fsm.h

```
/**
 * MSP430 state machine
 * fsm.h
 *
 * Description:
 *   A simple state machine for the MSP430
 *
 * Generated with Excel Table
 * Date: 09/18/2012      Time: 19:30:52
 */

#include <stdint.h> //
#include <stdio.h> //

#ifndef FSM_H
#define FSM_H

/**
 * State table typedef
 */
typedef struct
{
    void (*ptrFunc) (void);
    uint8_t NextState;
} FSM_STATE_TABLE;

extern uint8_t ActState;

/**
 * Some useful macros
 */
#define NR_EVENTS 3
#define TIMER 0
#define SWITCH 1
#define SWITCH2 2

#define NR_STATES 4
#define STATE0 0
#define STATE1 1
#define STATE2 2
#define STATE3 3

/**
 * Function prototypes
 */
// Initialize state machine
void FSM_Init (void);

// Event function "Timer"
void FSM_Timer (void);

// Event function "Switch"
void FSM_Switch (void);

// Event function "Switch2"
void FSM_Switch2 (void);

// Transition function "Botao0"
void FSM_Botao0 (void);
```

```
// Transition function "Botao20"
void FSM_Botao20 (void);

// Transition function "time1"
void FSM_time1 (void);

// Transition function "Botao1"
void FSM_Botao1 (void);

// Transition function "Botao21"
void FSM_Botao21 (void);

// Transition function "time2"
void FSM_time2 (void);

// Transition function "Botao2"
void FSM_Botao2 (void);

// Transition function "Botao22"
void FSM_Botao22 (void);

// Transition function "Botao23"
void FSM_Botao23 (void);

//*****//

#endif /* FSM_H */

//*****//
```

Anexo III

Configuração do ficheiro fsm_transition.c

Configuração do ficheiro fsm_transition.c

```
//*****//
// MSP430 state machine
// fsm_transition.c
//
// Description:
// Todas as funções de transição presentes na máquina de estado são aqui
//apresentadas com o código adequado.
//
// Generated with Excel Table
// Date: 09/18/2012      Time: 19:30:51
//
//*****//

#include <msp430.h> //
#include "fsm.h"

extern unsigned int system_tick_count; //Variável definida no main.c

//*****//
// Transition function "Botao0"
//*****//

// Função de transição do State0 -> State1.
// Função executada quando o estado actual é State0 (StandBy) e o botão
//Switch (S2 - P1.3) é pressionado.
// O Led verde (LED1 - P1.0)acende para indicar o enchimento do circuito
verde (State1).

void FSM_Botao0 (void)
{
    P1OUT |= 0x01; // Led verde active (Tabela 6).
}

//*****//
// Transition function "Botao20"
//*****//

// Função de transição do State0 -> State3.
// Função executada quando o estado actual é State0 (StandBy) e o botão
//Switch2 (P1.4) é pressionado.
// O Led verde (LED1 - P1.0)acende para indicar o enchimento do circuito
//verde assim como o Led vermelho (LED2 - P1.6)acende para indicar o
//enchimento do circuito vermelho (State2).

// O enchimento simultâneo dos dois circuitos de ar mantém-se estático, ou
//seja, o ar mantém-se sempre nos dois circuitos até ordem contrária que
//neste caso será dada pela função de transição FSM_Botao23 desligando o
//equipamento, voltando ao State0.

void FSM_Botao20 (void)
{
    P1OUT |= 0x41; // Dois LEDs activos (Tabela 6).
}
```

```

//*****//
// Transition function "time1"
//*****//

// Função de transição do State1 -> State2
// Tempo de espera de 10 minutos e passagem do State1 para o State2.

void FSM_time1 (void)
{
    P1OUT &= ~0x01; // Negação do estado 1, colocando tudo a zeros.
    P1OUT |= 0x40; // Indicação do estado 2 (Tabela 6).
}

//*****//
// Transition function "Botao1"
//*****//

// Função de transição do State1 -> State0.
// Função executada quando o estado actual é State1 e o botão Switch (P1.3)
//é pressionado.
//O Led verde (LED1 - P1.0) é desactivado desligando o equipamento.

void FSM_Botao1 (void)
{
    P1OUT &= ~0x01; // Retorno ao estado 0.
}

//*****//
// Transition function "Botao21"
//*****//

// Função de transição do State1 -> State3.
// Função executada quando o estado actual é State1 e o botão Switch2 (P1.4)
//é pressionado.
// O Led verde (LED1 - P1.0) que está aceso para indicar o enchimento do
//circuito verde permanece assim, e o Led vermelho (LED2 - P1.6)acende para
//indicar o enchimento do circuito vermelho (State2).

// O enchimento simultâneo dos dois circuitos de ar mantém-se estático, ou
//seja, o ar mantém-se sempre nos dois circuitos até ordem contrária que
//neste caso será dada pela função de transição FSM_Botao23 desligando o
//equipamento, voltando ao State0.

void FSM_Botao21 (void)
{
    P1OUT &= ~0x01;
    P1OUT |= 0x41;
}

//*****//
// Transition function "time2"
//*****//

// Função de transição do State2 -> State1.
// Tempo de espera de 10 minutos antes de passar do State2 para o State1.

void FSM_time2 (void)
{
    P1OUT &= ~0x40;
    P1OUT |= 0x01;
}

```

```

//*****//
// Transition function "Botao2"
//*****//

// Função de transição do State2 -> State0.
// Função executada quando o estado actual é State2 e o botão Switch (P1.3)
//é pressionado.

//O Led vermelho (LED2 - P1.6) apaga e o estado seguinte é o State0,
//desligando o equipamento.

void FSM_Botao2 (void)
{
    P1OUT &= ~0x40;
}

//*****//
// Transition function "Botao22"
//*****//

// Função de transição do State2 -> State3.
// Função executada quando o estado actual é State2 e o botão Switch2 (P1.4)
//é pressionado.

// O Led vermelho (LED2 - P1.6) que está aceso para indicar o enchimento do
//circuito vermelho permanece assim, e o Led verde (LED1 - P1.0) acende para
//indicar o enchimento do circuito verde.

void FSM_Botao22 (void)
{
    P1OUT &= ~0x40;
    P1OUT |= 0x41;
}

//*****//
// Transition function "Botao23"
//*****//

// Função de transição do State3 -> State0.
// Os dois LEDs estão activos no State3 e quando o botão Switch2 (P1.4) é
//pressionado, ocorre a transição para o State0 desactivando os dois LEDs e
//o equipamento entra em StandBy.

void FSM_Botao23 (void)
{
    P1OUT &= ~0x41;
}

//*****//

```


Anexo IV

Configuração do ficheiro main.c

Configuração do ficheiro main.c

```
/*
 * ===== Standard MSP430 includes =====
 */
#include <msp430.h>
#include "fsm.h" //

unsigned int system_tick_count = 1; // Variável utilizada para controlar o
                                     // tempo que o FSM permanece em cada estado.

/*
 * ===== Grace related includes =====
 */
#include <ti/mcu/msp430/csl/CSL.h>

/*
 * ===== main =====
 */
int main(int argc, char *argv[])
{
    CSL_init(); // Activate Grace-generated configuration
    __enable_interrupt(); // Set global interrupt enable

    FSM_Init ();

    while (1);
}

//*****
// Definição das funções a executar pelo Switch_Handler
//*****

void Switch_Handler (void)
{
    if ((P1IFG & 0x08) == 0x08) // Botão S2 -> P1.3
    {
        FSM_Switch ();
    }

    if ((P1IFG & 0x10) == 0x10) // Botão externo -> P1.4
    {
        FSM_Switch2 ();
    }

    P1IFG = 0x00;
}

//*****
// Definição das funções a executar pelo Timer_Handler
//*****

void Timer_Handler (void)
{
    system_tick_count--;
    if (system_tick_count == 0x00)
    {
        FSM_Timer();
        system_tick_count = 1;
    }
}

//*****
//
//*****
```