

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial -  
Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental

## Relatório Interno

# Breve estudo sobre Sistemas de Pedobarografia

Daniela Sofia S. Sousa  
João Manuel R. S. Tavares

**Trabalho realizado no âmbito do projecto:**

**ACTIDEF - Avaliação Computacional e Tecnológica Integrada do Desempenho  
e Funcionalidade de Cidadãos com Incapacidades Músculo-esqueléticas**

**Parceria CRPG / FEUP / INEGI / INEB.  
Financiado pelo programa POS-Conhecimento.**



Janeiro 2007



## **Resumo**

Este relatório tem por objectivo principal a apresentação e a análise de diferentes plataformas pedobarográficas existentes para a aquisição da pressão plantar durante a marcha.

## **Abstract**

This report presents and discusses a list of some pedobarographic platforms available for analysing the plantar pressure during human's gait.



# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. SISTEMAS BAROMÉTRICOS ÓPTICOS.....</b>	<b>1</b>
2.1 ÂNGULO CRÍTICO .....	2
2.2 FOTOELASTICIDADE.....	3
2.3 BORRACHA TEXTURIZADA .....	4
2.4 CRISTAIS LÍQUIDOS .....	5
<b>3. CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS.....</b>	<b>5</b>
<b>4. PERFORMANCE DE VÁRIOS SISTEMAS ÓPTICOS.....</b>	<b>6</b>
4.1 REVISÃO DA LITERATURA .....	6
4.2 OPINIÃO DE ESPECIALISTAS.....	8
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>10</b>



## 1. Introdução

Um sistema de pedobarografia é considerado por diversos autores [Bhatia, 1999; Duckworth, 1985; Orlin, 2000; Patil, 1997; Shah, 2005; Tavares, 2000] como o equipamento para a aquisição de pressões plantares por intermédio da utilização de uma placa rectangular transparente e iluminada pelos seus bordos de modo a que luz seja reflectida internamente. A superfície superior da placa usada é coberta por uma camada opaca de material deformável sobre a qual a pressão é aplicada; as imagens da superfície inferior da plataforma variam conforme a pressão aplicada e estas são captadas através de um sensor óptico.

No entanto, em [Urry, 1999] pode-se encontrar outro tipo de plataformas para medição da pressão plantar também denominadas de pedobarógrafos; estas últimas diferem das primeiras no princípio de medição usado (fotoelasticidade) e, conseqüentemente, nos componentes necessários à medição da pressão plantar (plataforma transparente, filtro polarizador, material fotoelástico, etc.).

Porém, ambos os tipos de dispositivos indicados têm em comum o facto de usarem sensores ópticos para a captação das diferentes pressões exercidas sobre a plataforma barométrica.

Neste relatório, consideram-se como plataformas pedobarográficas todas as plataformas que utilizam um sensor óptico, para captar a pressão resultante da interacção entre a planta do pé e uma superfície de apoio devidamente preparada, e geram imagens de acordo com a carga aplicada. Com base na literatura analisada é apresentado um resumo dos diversos sistemas pedobarométricos ópticos identificados; seguidamente, caracterizam-se os vários pedobarógrafos considerados quanto às especificações técnicas necessárias e desejáveis para aquisição da pressão plantar; finalmente, discutem-se as vantagens e as desvantagens das soluções ópticas barométricas entre si e perante outras tecnologias existentes no mercado (resistiva, capacitiva, hidrocélulas, etc.).

## 2. Sistemas Barométricos Ópticos

Existem várias maneiras de implementar um sistema pedobarográfico, ou variando o princípio de medição considerado (ângulo crítico, fotoelasticidade, borracha texturizada, cristais líquidos) ou variando os componentes utilizados no sistema (vidro/acrílico, etc.) baseado num mesmo princípio de medição. Nesta secção, introduzem-se os vários sistemas pedobarográficos identificados na pesquisa realizada no decorrer do presente trabalho.

## 2.1 Ângulo Crítico

O princípio de medição deste tipo de pedobarógrafos é o do ângulo crítico, ângulo para o qual existe reflexão interna total da luz incidente num dado material. Quando é exercida pressão no topo da plataforma pedobarográfica dá-se o aumento do ângulo crítico resultante da diminuição da camada de ar entre a superfície translúcida e a superfície de material moldável, provocando a reflexão dos raios de luz pela placa translúcida. Quando observada de baixo, vêm-se áreas iluminadas com diferentes intensidades correspondentes a diferentes valores de pressão; na ausência de pressão, a superfície é escura.

Um pedobarógrafo que mede a pressão plantar via alterações do ângulo crítico [Urry, 1999] consiste numa superfície de vidro ou acrílico [Tavares, 2000] iluminada pelos seus bordos, coberta por uma fina camada de material plástico [Orlin, 2000; Tavares, 2000], borracha ou papel. A luz é assim reflectida internamente desde que não se exerça pressão sob a plataforma de vidro; quando tal não acontece, a luz é transmitida através da placa de medição. A imagem obtida sob a mesa de medição é captada por uma câmara de imagem.

Em [Bhatia, 1999; Duckworth, 1985; Orlin, 2000; Patil, 1997; Shah, 2005], acrescenta-se ao sistema acima descrito sensores de força em cada extremo da mesa de medição. Assim, a pressão plantar é determinada à custa da intensidade da iluminação nas imagens adquiridas e do valor da força medida pelos sensores, Figura 1.

No sistema usado em [Duckworth, 1985], o material colocado sobre o vidro é descrito como deformável e de cor branca. A calibração do sistema é efectuada à custa da comparação entre a soma das saídas dos sensores de força com as intensidades de luz obtidas sob a plataforma [Duckworth, 1985].

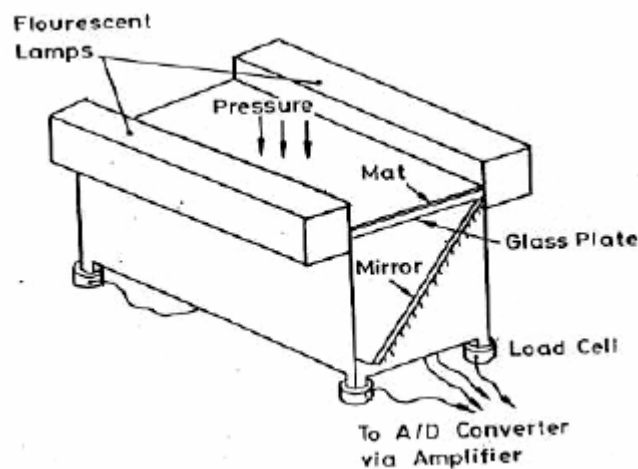


Figura 1. Mesa pedobarográfica com sensores de força (imagem retirada de [Shah, 2005]).



Já em [Patents, 2006a], é sugerida a aplicação de um material reflector (*photographic paper*) sobre a placa de vidro uma vez que provoca um aumento da intensidade de luz quando a pressão é aplicada sobre a plataforma pedobarográfica.

Por outro lado, em [Cavanagh, 1997] é feita referência a um sistema pedobarográfico comercializado pela *BTE - Baltimore Therapeutic Equipment*. O referido dispositivo é descrito pelo Prof. Neil Sharkey, professor das disciplinas de cinética, de ortopedia e de reabilitação, da Universidade de Park (Iowa, EUA), após ter-lhe sido enviado um pedido para uma descrição mais completa da mesa de medição usada em [Cavanagh, 1997]. Segundo, este o Prof. Neil Sharkey foram efectuadas algumas alterações ao equipamento original adquirido à *BTE* ao nível do sensor óptico e do *software* de aquisição e tratamento das medições plantares adquiridas. Os restantes componentes são: duas lâmpadas fluorescentes, posicionadas ao longo de todo o comprimento da plataforma; uma superfície de material opaco, moldável, de espessura reduzida; e, por fim, uma placa de vidro temperado e transparente. Na pesquisa efectuada à página da *BTE*, [BTE, 2006], não foi encontrada qualquer informação relativa a tal sistema. A mesma empresa foi contactada via correio electrónico e na resposta obtida, o departamento comercial, também não fez qualquer referência à existência deste equipamento.

No Hospital de Santo António (Porto) existe uma plataforma pedobarográfica para medição da pressão construída pela *FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto* pelos Professores Armando Padilha e Armindo Gomes. A referida plataforma possui um comprimento total de aproximadamente 4.5 m, resultante do agrupamento de plataformas pedobarográficas mais pequenas com o comprimento aproximado de 1.5 m. Cada uma destas plataformas é constituída por uma placa de acrílico com uma espessura de ~ 2 cm, apoiada por uma estrutura metálica a uma altura de ~ 0.5 m do solo, a qual suporta também duas lâmpadas colocadas nas bordas laterais da plataforma ao longo de todo o seu comprimento. O sistema responsável pelo direccionamento dos raios de luz para as bordas da plataforma de acrílico também é suportado pela mesma estrutura metálica; assim como, o espelho colocado de forma inclinada por baixo da superfície interior da placa de acrílico. Anteriormente, a plataforma pedobarográfica possuía uma camada opaca de material plástico, colocada sob a placa de acrílico, que facilitava a aquisição da pressão plantar. Presentemente, este sistema pedobarográfico não é usado pelo Hospital Santo António, nem qualquer outro tipo de plataforma barométrica.

## **2.2 Fotoelasticidade**

Este tipo de pedobarógrafo usa a fotoelasticidade dos materiais para medição da pressão. A fotoelasticidade baseia-se na capacidade que alguns materiais plásticos apresentam de alterar o seu comportamento óptico conforme as deformações a que estão sujeitos, [Chousal, 1991]. Num

material fotoelástico usando a birrefringência temporária do material é possível calcular a amplitude e a direção da carga aplicada. Se um material birrefringente receber luz polarizada plana (raios de luz que vibram apenas segundo um determinado plano), os mesmos raios são divididos em raios com a direção das três componentes principais da carga aplicada no material birrefringente e com velocidades diferentes. O resultado da observação da interferência destes raios de luz está relacionado com a variação dos índices de refração provocados pela aplicação de uma dada pressão.

Uma versão deste tipo de sistema pode ser verificada na Figura 3. A carga exercida pela planta do pé é transmitida ao material fotoelástico por superfícies rígidas esféricas unidas por uma superfície de cabedal, [Urry, 1999]. Para evitar *crosstalk* entre as várias superfícies esféricas, este tipo de sistema evoluiu para superfícies esféricas independentes, [Sousa, 2006]. As imagens resultantes da pressão exercida sobre o material fotoelástico são adquiridas usando uma câmara de imagem.

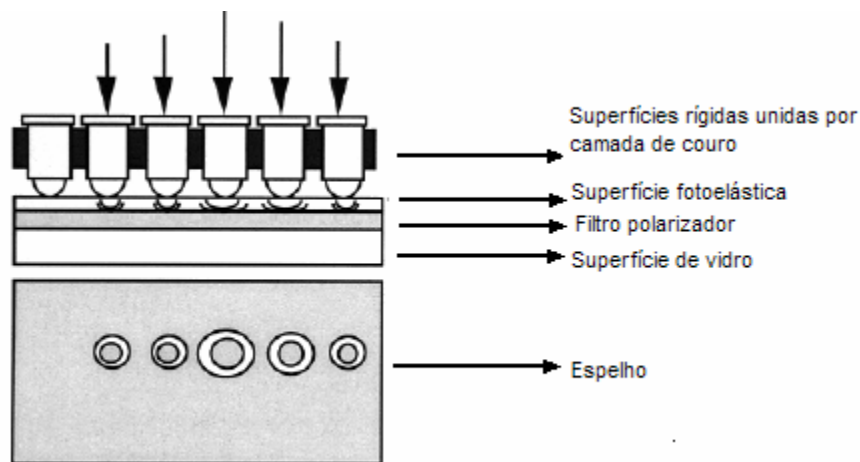


Figura 2. Exemplo de um sistema pedobarógrafo usando o princípio da fotoelasticidade (imagem adaptada de [Urry, 1999]).

### 2.3 Borracha Texturizada

No sistema descrito em [Urry, 1999], a medição da pressão plantar é obtida à custa de uma placa de borracha rugosa, constituída por pequenas pirâmides na sua superfície inferior sobreposta sobre uma placa de vidro, existindo um líquido de cor branca entre estes elementos. Quando é aplicada pressão sobre a borracha, a área de contacto de cada pirâmide aumenta; o contraste entre os diferentes pontos é também aumentado pela presença do líquido de cor branca e, posteriormente, capta-se a imagem obtida usando um sistema óptico adequado, Figura 3.

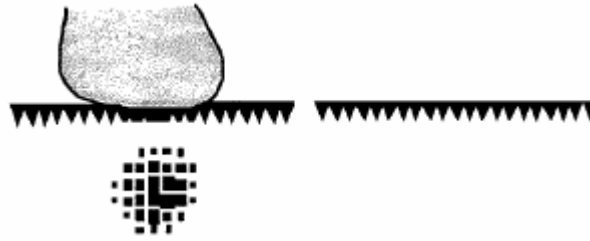


Figura 3. Princípio de funcionamento de sistemas usando borracha texturizada na medição plantar de pressões (imagem de [Urry, 1999]).

## 2.4 Cristais Líquidos

O sistema analisado em [Urry, 1999], consiste na utilização de cristais líquidos retidos dentro de placas plásticas. Os cristais líquidos flúem como os materiais líquidos, podendo ser considerados cristais sólidos que perderam parte da sua ordem. Na presença de pressão, estes cristais alteram a sua disposição, podendo estas alterações ser adquiridas por um sistema óptico. Um exemplo da aplicação deste tipo de materiais à barometria pode ser encontrado em [Patents, 2006c], no qual cristais líquidos são colocados entre duas plataformas transparentes condutivas nas quais é aplicada uma dada tensão. Na presença de pressão, as duas superfícies condutoras aproximam-se fazendo variar a tensão nessa região, esta variação de tensão faz com que os cristais líquidos assumam diferentes orientações conforme o campo eléctrico aplicado. Se luz polarizada incidir sobre os cristais líquidos e for transmitida ou reflectida para um dado sensor óptico, diferentes intensidades de luz resultam de diferentes orientações dos cristais líquidos, isto é, em conformidade com a pressão aplicada.

## 3. Características Desejáveis

A tecnologia de medição da pressão plantar deve ser exacta, precisa, durável e a um preço reduzido. A exactidão e a precisão são parâmetros genéricos usados para caracterizar o desempenho global da tecnologia de medição, [Sousa, 2006]. A exactidão (*accuracy*) tem a ver com a proximidade do valor medido ao valor real da grandeza em causa. A precisão (*precision*) está relacionada com a replicação dos resultados perante condições de medição idênticas, já a precisão é sinónimo de repetibilidade (*repeatability*). Estes parâmetros globais são afectados pelas seguintes propriedades dos sistemas de medição [Sousa, 2006]: frequência de amostragem, tempo de resposta, resolução espacial, resolução em amplitude, intervalo de medição,

linearidade, histerese, *crosstalk* e deriva. Neste documento, para avaliar a performance da tecnologia dos vários sistemas ópticos de medição plantar da pressão, teve-se em atenção todos estes parâmetros.

Os requisitos mínimos a considerar para um bom desempenho na medição das pressões na planta do pé são uma frequência de amostragem de 50 Hz, um tempo de resposta na ordem dos 25 ms, uma resolução espacial de 8 mm e um intervalo mínimo de medição dos 20 aos 900 KPa, [Sousa, 2006]. É desejável uma elevada sensibilidade, linearidade e uma influência diminuta de factores como histerese, *crosstalk* e deriva no modo de operação. Por outras palavras, pretende-se um sistema pedobarográfico exacto, preciso, durável e a um preço reduzido.

## 4. Performance de Vários Sistemas Ópticos

Nesta secção, tenta-se avaliar o desempenho das diferentes tecnologias ópticas analisadas para a aquisição estática e dinâmica da pressão plantar; assim como, comparar a efectividade deste tipo de tecnologia face a outras tecnologias existentes (resistivas, capacitivas, etc., [Sousa, 2006]). Para tal, foi recolhida informação encontrada em literatura da área e foram consultados alguns especialistas na área: Prof. Luís Serra (director do serviço de ortopedia do Hospital Santo António - Porto), Prof. Neil Sharkey (professor de cinética, ortopedia e reabilitação da Universidade de Park, Iowa, EUA), Dr. Jaime Monteiro (técnico superior do *LOME - Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental* do *INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial*) e Prof. Mário Vaz (coordenador do *LOME*, Professor no Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da *FEUP*).

### 4.1 Revisão da Literatura

Em termos de frequência de amostragem todos os sistemas ópticos analisados para a aquisição de pressão cumprem os requisitos mínimos. Por exemplo, com câmaras vídeo digitais *PAL* usuais conseguem-se frequências de amostragem na ordem dos 50 Hz.

Em relação à resolução espacial, os sistemas pedobarógrafos por ângulo crítico ou por cristais líquidos apenas estão limitados à resolução espacial do sensor considerado. Para uma câmara vídeo digital *PAL* com resolução 768x576 *pixels*, se o sensor captar uma área de 2 metros de lado cada *pixel* representa aproximadamente uma área de 2.6 milímetros de lado. A nível de resolução espacial, estes sistemas pedobarógrafos têm óptimo desempenho, semelhante à resolução espacial (2.5 mm) apresentada pelo sistema *F-scan* da empresa *Tekscan*, [Sousa,

2006]; além do mais, se a área captada for inferior, a resolução espacial aumenta. Os sistemas pedobarógrafos descritos nas secções 2.2 e 2.3 também cumprirão os requisitos mínimos da resolução espacial, uma vez que será possível a construção de pinos esféricos e de rugosidades na superfície superior da placa de borracha com uma dimensão máxima de 8 mm.

O intervalo de medição para os sistemas pedobarógrafos fotoelásticos vai desde os 0 aos 1000 KPa, [Urry, 1999]. Durante este trabalho, para os restantes sistemas de medição não foi encontrada qualquer referência relativa ao intervalo de medição.

Na literatura analisada não foi encontrada qualquer comparação entre as tecnologias ópticas, ou entre as tecnologias ópticas e outras tecnologias (resistivas, capacitivas, etc.), no que diz respeito à resposta temporal, *crosstalk*, histerese, deriva e linearidade. Apenas foi referido em [Urry, 1999] que estas características dependem do material usado: se forem usados materiais elásticos para a medição da pressão, estes apresentam limitações na resposta dinâmica; por outro lado, se forem usados materiais rígidos, o nível de *crosstalk* aumenta. Existe uma atenuação de 15 % do valor pico da pressão dos sistemas pedobarógrafos fotoelásticos, e as medições com este tipo de tecnologia são mais exactas quanto mais lenta é aplicação da força em causa, [Urry, 1999]. Para os sistemas ópticos de medição com borracha texturizada, há também atenuação dos valores picos da pressão devido a *crosstalk* e devido à distorção provocada pela compressão vertical, [Urry, 1999].

Quanto à resolução em amplitude, o sistema de medição está limitado pelo sensor óptico usado, pelo princípio de medição considerado e pelos materiais empregues na aquisição das pressões. No caso do sensor óptico ser uma câmara vídeo digital *PAL* usual, esta tem pelo menos 8 *bits* para representar uma determinada cor, o que significa 256 cores distintas para representar um intervalo de medição entre 20 a 900 KPa; ou seja, cores vizinhas estão desfasadas de 3.4 KPa ( $\Leftrightarrow 0.034 \text{ Kgf/cm}^2$ ). Assim, o sensor óptico não constitui uma limitação para a resolução em amplitude para sistemas de barométricos. Em termos dos princípios de medição e materiais, apenas é referido em [Urry, 1999] que existem limitações na resolução em termos de amplitude para a tecnologia óptica de aquisição de pressões usando borracha texturizada.

Os sistemas mais duráveis serão os baseados em ângulo crítico, os que empregam cristais líquidos e os baseados em fotoelasticidade. Em princípio, os sistemas pedobarográficos baseados no princípio da borracha texturizada, diminuirão mais rapidamente a sua performance com o desgaste das suas pirâmides de borracha.

O método de calibração a usar nestes sistemas será semelhante para todas as tecnologias consideradas, uma vez que consiste na aplicação de cargas de valor conhecido para a associação a diferentes padrões de imagens obtidas (diferentes intensidades de luz ou áreas de diversas dimensões), para além da calibração da câmara de imagem usada no sistema.

## 4.2 Opinião de Especialistas

O Prof. Luís Serra teve a oportunidade de trabalhar com a plataforma previamente descrita na secção 2.1 e com uma outra plataforma comercial que usava tecnologia electromecânica. Este especialista, não referiu qualquer limitação a nível dos parâmetros usados para a análise clínica da pressão plantar introduzida pela tecnologia óptica em comparação com a tecnologia electromecânica. Apenas indicou a dificuldade em calibrar o sistema óptico e a impossibilidade de comparar os resultados obtidos através da plataforma pedobarográfica usada com plataformas pedobarográficas existentes em outras instituições. Isto deve-se ao facto das diferentes plataformas pedobarográficas existentes terem sido construídas por medida, e deste modo, não possuem o mesmo tipo de componentes ou o mesmo tipo de materiais, o que altera os valores de pressão medidos. Relativamente, à integração da plataforma pedobarográfica no laboratório de análise da marcha, salientou a importância da plataforma estar instalada ao nível do solo e, se possível, disfarçada; evitando assim a alteração do padrão normal da marcha do indivíduo em análise.

Actualmente, quer a plataforma pedobarográfica quer a plataforma electromecânica não estão a ser usadas pelo Hospital de Santo António, uma vez que de acordo com o Prof. Luís Serra o *output* obtido não é uma mais-valia evidente para o diagnóstico e para a prescrição clínica. A acrescentar referiu ainda que se o objectivo for analisar a efectividade de suportes plantares, então a interface de interesse é entre o sapato e o suporte plantar; para tal é melhor o uso de palmilhas para aquisição da pressão; e que além do mais, os indivíduos não caminham descalços. No caso de se usar uma meia para prender o suporte plantar à planta do pé e se adquirir a pressão com uma plataforma barométrica, então serão introduzidos inúmeros erros dignos de registo na medição da pressão plantar resultantes do deslocamento do suporte plantar relativamente ao pé. Acrescentou ainda que as plataformas poderiam ser úteis na análise da efectividade de próteses de membros inferiores, mas que neste caso poderá não ser necessária uma plataforma de pressão e suficiente uma plataforma de forças.

As únicas considerações relativas à performance do sistema pedobarográfico por ângulo crítico usado pelo Prof. Neil Sharkey, descrito na secção 2.1, foram sobre o tempo de resposta e o intervalo de medição. Assim, foi indicado que o sistema pedobarográfico usado não apresenta qualquer limitação a nível de tempo de resposta ou intervalo de medição.

O Prof. Mário Vaz e o Dr. Jaime Monteiro indicaram a plataforma pedobarográfica por ângulo crítico como sendo uma boa opção para a análise plantar da marcha. Uma vez que esta tem um custo inferior à da fotoelasticidade ou à de cristais líquidos, é de fácil construção e apresenta um desempenho tecnológico suficiente. Sugeriram para a construção da mesma a experimentação

de placas de vidro e de acrílico, o uso de lâmpadas fluorescentes e a utilização de material plástico para a superfície opaca.

## 5. Discussão

No presente estudo é difícil tirar conclusões quanto à tecnologia óptica barométrica com o melhor desempenho técnico. À partida, o pedobarógrafo de borracha texturizada será o que apresentará uma performance inferior. Em relação às restantes tecnologias, pode-se apenas referir que o pedobarógrafo por ângulo crítico é o único sistema usado na literatura analisada [Bhatia, 1999; Cavanagh, 1997; Duckworth, 1985; Hughes, 1993; Patil, 1997; Schie, 1998; Shah, 2005]. Para poder compreender melhor a performance destes sistemas, seria interessante estudar as especificações técnicas dos diferentes materiais usados nas várias plataformas pedobarográficas e as limitações introduzidas pelo princípio de medição considerado. Porém, face ao indicado por especialistas da área, ver secção 4.2, e tendo em conta o facto de ser o sistema óptico pedobarométrico mais usado na literatura analisada, a plataforma pedobarográfica por ângulo crítico poderá ser um método eficaz para a medição da pressão plantar. Os componentes a usar na construção de um dispositivo deste tipo poderiam ser acrílico ou vidro para a placa transparente com espessura de aproximadamente 2 cm e uma área de 1 m x 0.6 m, lâmpadas fluorescentes, uma estrutura capaz de direccionar a luz para a superfície transparente para que haja reflexão interna total, um espelho de 1 m de comprimento, uma camada plástica opaca ou material reflector (*photographic paper*) sobre a placa transparente, uma câmara de imagem *DV* usual (*PAL*, 768x576, 50 Hz, 8 bits) e uma estrutura metálica de suporte do sistema. É muito importante que a plataforma pedobarográfica esteja montada ao nível do solo e, tanto quanto possível, disfarçada.

Relativamente à eficiência das tecnologias ópticas face a outras tecnologias para aquisição da pressão plantar existentes no mercado (resistivas, capacitivas, hidrocélulas, etc.), apenas é possível verificar a elevada resolução espacial dos sistemas ópticos (~ 8 mm, [Sousa, 2006]), assim como a suficiente frequência de amostragem das mesmas. Além do mais, quer para a frequência de amostragem quer para a resolução espacial, podem-se usar sensores ópticos com especificações superiores, porém a preços mais elevados. O preço de um sistema pedobarógrafo por ângulo crítico (*hardware*) de 1 m de comprimento ronda os 1500 € em termos de componentes (uma placa de vidro, uma camada de borracha, duas lâmpadas, um espelho, uma câmara *DV*) o que significa menos de metade do preço da solução pedobarométrica comercial existente com menor preço (3760 €, plataforma resistiva de 0.5 m da *RSScan*, com *software* para análise da pressão plantar incluído no preço, [Sousa, 2006]). Embora o preço seja considerável

mais reduzido, é necessário ter em atenção a necessidade de desenvolver *software* para a aquisição e análise das pressões. É de salientar também a capacidade para a medição das forças de corte dos pedobarógrafos fotoelástico e dos pedobarógrafos por cristais líquidos.

Alterações às soluções apresentadas na secção 2, poderiam ser a não necessidade de superfícies rígidas esféricas para os pedobarógrafos por fotoelasticidade, ou a não necessidade de aplicação de tensão aos cristais líquidos; além do mais, seria também interessante estudar o tipo de fonte de luz a usar.

Outras maneiras para medir através de óptica a pressão plantar podia ser à custa de uma placa transparente onde estaria fixa ou registada uma micro rede na qual a distância entre as linhas e colunas variava conforme a carga aplicada, sob a plataforma era captada a imagem resultante através de um sensor óptico; tal sistema, daria para medir a pressão e as forças de corte.

## Bibliografia

- [Bhatia, 1999] M. Bhatia, K. Patil, *New on-line parameters for analysis of dynamic foot pressures in neuropathic feet of Hansen's disease subjects*, Journal of Rehabilitation Research & Development, Vol. 36, pp. 264-272, 1999.
- [BTE, 2006] BTE Technologies, <http://www.btetech.com/>, acedido em Maio 2006.
- [Cavanagh, 1997] P. Cavanagh, E. Morag, A. Boulton, M. Young, K. Deffner, S. Pammer, *The relationship of static foot structure to dynamic foot function*, Journal Biomechanics, Vol. 30, pp. 243-250, 1997.
- [Chousal, 1991] J. Chousal, *Processamento de imagem na interpretação de franjas interferométricas em análise experimental de tensões*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 1991.
- [Dally, 1991] J. Dally, W. Riley, *Experimental Stress Analysis*, 3<sup>rd</sup> Edition, McGraw-Hill Internacional Editions, 1991.
- [Duckworth, 1985] T. Duckworth, A. Boulton, R. Betts, C. Franks, J. Ward, *Plantar pressure measurements and the prevention of ulceration in the diabetic foot*, Royal Hallamshire Hospital, Sheffield, 1985.
- [EdmundOptics, 2006] Edmund Optics, <http://www.edmundoptics.com>, acedido em Maio 2006.
- [Hughes, 1993] J. Hughes, *The clinical use of pedobarography*, Acta Orthopaedica Belgica, Vol. 59, pp. 10-16, 1993.
- [Patents, 2006a] Free Patents Online, Foot Pressure Measurement System, USA 4858621, <http://freepatentsonline.com/4858621.html>, acedido em Maio de 2006.



- [Patents, 2006b] Free Patents Online, Video Pedobarograph System, USA 5722287, <http://www.freepatentsonline.com/5722287.html>, acessido em Maio de 2006.
- [Patents, 2006c] Free Patents Online, Video Pedobarograph System, USA 5309767, <http://www.freepatentsonline.com/5309767.html>, acessido em Maio de 2006.
- [Orlin, 2000] M. Orlin, T. McPoil, *Plantar pressure assessment*, Physical Therapy, Vol. 80, Number 4, pp. 399-409, 2000.
- [Patil, 1997] M. Patil, Vasanth B. M., M. Bhatia, Parivalavan R., Narayanamurthy B., Ganesan S., *New methods and parameters for dynamic foot pressure analysis in diabetic neuropathy*, IEEE/EMBS, Proceedings – 19<sup>th</sup> International Conference, Chicago, USA, 1997.
- [Schie, 1998] C. Schie, C. Abbott, L. Vileikyte, J. Shaw, S. Hollist, A. Boulton, *A comparative study of the Podotrack, a simple semiquantitative plantar pressure measuring device, and the optical pedobarograph in the assessment of pressures under the diabetic foot*, Diabetic Medicine, Vol. 16, pp. 154-159, 1998.
- [Shah, 2005] R. Shah, K. Patil, *Processing of foot pressure images and display of an advanced clinical parameter PR in diabetic neuropathy*, ICORR 2005, 9<sup>th</sup> International Conference on Rehabilitation Robotics, Chicago, USA, 2005.
- [Sousa, 2006] D. Sousa, J. Tavares, Relatório Interno, *Estudo de soluções comerciais para análise clínica da pressão plantar*, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2006, <http://paginas.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/relatorios/MercadoBarometrico.pdf>, acessido em Maio 2006.
- [Tavares, 2000] J. Tavares, J. Barbosa, A. Padilha, *Matching image objects in dynamic pedobarography*, RecPad 2000, 11th Portuguese Conference on Pattern Recognition, Porto, Portugal, 2000, <http://paginas.fe.up.pt/~tavares/downloads/publications/artigos/artigo%20recpad2000.pdf>, acessido em Abril 2006.
- [Tipler, 2000] P. Tipler, *Física para cientista e engenheiros*, 4<sup>a</sup> Edição, Vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000.
- [Urry, 1999] S. Urry, *Plantar pressure-measurement sensors*, Measurement Science and Technology, 1999.