

CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS EM TECIDOS HIPER-ELÁSTICOS

J. Ribeiro^{*}, *P. Martins*[#], *J. Monteiro*⁺, *M. Vaz*[∞] e *H. Lopes*^{*}

^{*}- IPB, Instituto Politécnico de Bragança; jribeiro@ipb.pt, hlopes@ipb.pt

[#]- IDMEC, Instituto de Engenharia Mecânica, Pólo FEUP, palsm@fe.up.pt

⁺- INEGI, Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial; jmont@fe.up.pt

[∞]- FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; gmavaz@fe.up.pt

PALAVRAS CHAVE: Correlação Digital de Imagem, Biomecânica de Tecidos, Hiper-Elasticidade

RESUMO: Neste trabalho pretende-se caracterizar, por um lado, o campo de deslocamentos em tecidos hiper-elásticos e, por outro, avaliar a aplicação da técnica de Correlação Digital de Imagem neste tipo de materiais. Para o efeito, implementou-se um ensaio de tracção de um tecido com propriedades mecânicas hiper-elásticas (tecidos da mucosa vaginal humana) e, recorrendo ao equipamento de Correlação Digital de Imagem, Aramis, da GOM, fez-se uma análise global do campo de deslocamentos ocorrido na superfície do provete.

1 INTRODUÇÃO

O estudo da caracterização de tecidos com um comportamento mecânico hiper-elástico tem vindo a ter um interesse crescente devido à necessidade de um conhecimento cada vez mais profundo do comportamento de tecidos biológicos, particularmente tecidos humanos [1, 2].

Tradicionalmente, o estudo mecânico deste tipo de tecidos tem vindo a ser feito com técnicas convencionais desenvolvidas para o estudo de materiais com um comportamento linear e isotrópico, tal como os ensaios de tracção, que permitem a determinação de valores médios de algumas propriedades mecânicas. Contudo, estes materiais têm comportamentos mecânicos muito distintos dos materiais convencionais, havendo, por isso, a necessidade de recorrer-se a técnicas que permitam uma análise global do comportamento desses tecidos, sendo as técnicas ópticas as mais adequadas para esse fim, pois permitem medir sem contacto e obter informação de carácter global com resoluções sub-micrométricas.

Os grandes inconvenientes da aplicação de algumas técnicas ópticas, nomeadamente as técnicas de interferometria, prendem-se com facto da superfície de análise sofrer uma profunda variação na sua textura devido à segregação de alguns fluidos e à elevada amplitude dos deslocamentos ocorridos nos ensaios, originando a descorrelação de imagens. Assim, neste trabalho optou-se pela utilização de uma técnica de campo denominada Correlação Digital de Imagem (CDI), que é insensível a essas limitações.

A CDI é uma técnica de medição em que se utiliza um método de correlação matemática para calcular o deslocamento no plano em superfícies de componentes ou estruturas sujeitas a tensões térmicas ou mecânicas. Esta técnica baseia-se na utilização de padrões aleatórios existentes na superfície dos componentes ou estruturas. A técnica compara duas imagens, adquiridas em diferentes estados, uma antes da deformação e outra após deformação. As duas imagens podem, também, ser designadas como imagem de

referência (antes da deformação) e imagem deformada [3].

Nesta técnica o objecto é iluminado por uma fonte de luz não coerente, sendo os padrões de intensidade resultantes da textura da superfície. Estes padrões de intensidade, que deverão ter uma distribuição aleatória, serão subdivididos em áreas de menores dimensões. Cada subdivisão, definida na imagem inicialmente gravada será depois comparada por correlação com imagens obtidas para estados diferentes de deformação do objecto. Considerando $f(x,y)$ como uma função discreta que define os níveis de cinzento dos pixel da imagem inicial e $f^*(x^*,y^*)$ dos pixel da imagem final [4]. A relação entre as duas funções é definida por,

$$f^*(x^*,y^*)=f(x+u(x,y),y+v(x,y)) \quad (\text{Eq. 1})$$

onde u e v representam o campo de deslocamentos (Fig. 1).

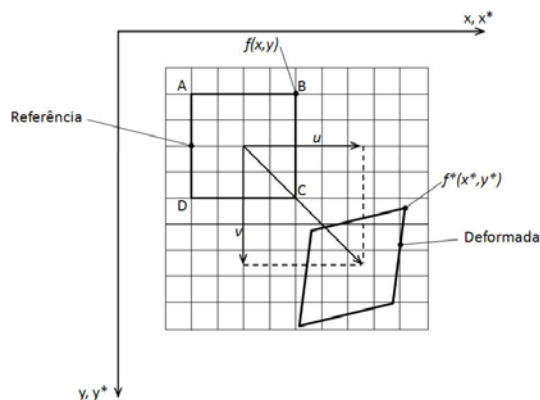


Fig. 1 Variação do estado inicial (referência) para o estado final (deformada).

A determinação do campo de deslocamentos é obtida pela correlação entre o padrão aleatório da imagem inicial (referência) e a sua transformada (deformada). Esta operação é realizada para todos os padrões que se encontrem no centro da rede virtual da imagem inicial, de modo a obter todo o campo de deslocamentos de cada elemento da rede.

1.1 DESCRIÇÃO DO ENSAIO

O estudo descrito neste artigo encontra-se inserido num trabalho mais abrangente, na área da biomecânica. Mais especificamente, no

estudo do comportamento mecânico de tecidos humanos e onde se faz a caracterização das propriedades hiper-elásticas da mucosa vaginal humana. Neste sentido, realizaram-se ensaios de tracção até à rotura, obtendo-se as respectivas curvas de tensão-deformação. A partir destas curvas é possível determinar algumas propriedades mecânicas destes materiais hiper-elásticos, nomeadamente, o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson.

Foi especialmente desenvolvida para o efeito, uma montagem para realizar o ensaio de tracção. Teve-se em consideração um conjunto de especificidades, tais como, as baixas cargas envolvidas, as elevadas deformações e alguns cuidados especiais na protecção dos utilizadores e de higiene local. É importante referir que os ensaios são realizados com tecidos humanos e é fundamental ter um especial cuidado a nível de protecção pessoal e ambiental contra possíveis agentes virais e bacteriológicos.

A preparação dos provetes envolveu duas fases: corte do tecido com as dimensões adequadas para o ensaio e a criação do padrão aleatório sobre a superfície a medir. Devido ao tipo de material em causa, foram testados diferentes procedimentos para a criação do padrão aleatório. Após vários testes, verificou-se que o que ofereceu melhores resultados consistiu na utilização pó de *toner* sobre a superfície do tecido a medir.

Após a criação do padrão, o tecido foi montado na máquina de tracção, com amarras devidamente elaboradas para evitar o escorregamento do tecido. A face com o padrão aleatório ficou virada para o sistema de CDI, tal com se pode ver, esquematicamente, na Fig. 2.

O processo de CDI consiste na aquisição de uma imagem de referência, antes da deformação, e na posterior aquisição de imagens sucessivas durante o ensaio, com um intervalo de tempo previamente definido.

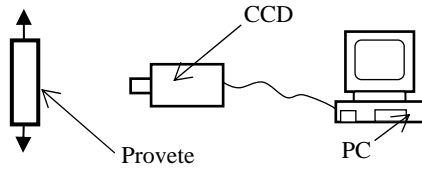


Fig. 2 Esquema da montagem óptica para o ensaio de tracção, recorrendo à CDI para a medição do campo de deslocamentos.

A calibração foi realizada utilizando uma tira de papel milimétrico, colado numa das amarras. O software permite seleccionar dois pontos e definir a distância entre eles, este valor servirá de escala para a determinação do campo de deslocamentos que ocorre na superfície do tecido durante o ensaio.

1.2 RESULTADOS OBTIDOS

As amostras de tecido utilizadas nos ensaios de tracção têm uma geometria paralelepípedica, onde a espessura tem uma dimensão muito inferior, comparativamente com a largura e comprimento. Na tabela 1, estão indicadas as dimensões da amostra ensaiada.

Tabela 1. Dimensões da amostra ensaiada.

Espessura [mm]	Comprimento [mm]	Largura [mm]
1.348	13.08	9.619

A curva tensão-deformação obtida no ensaio realizado neste trabalho encontra-se representada na Fig. 3.

O material ensaiado tem propriedades hiper-elásticas e, tal como se pode observar pela Fig. 3, as deformações ocorridas são muito elevadas. Esta característica traz problemas acrescido na utilização das técnicas ópticas para a medição de campo, podendo ocorrer a descorrelação.

A técnica de CDI, é uma das poucas técnicas ópticas que permite a medição de campos de deslocamentos e deformações tão elevados como os que ocorrem com estes materiais.

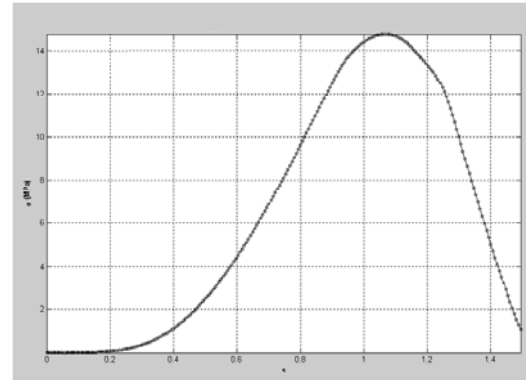
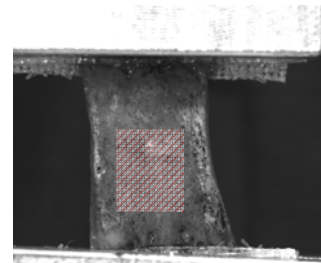
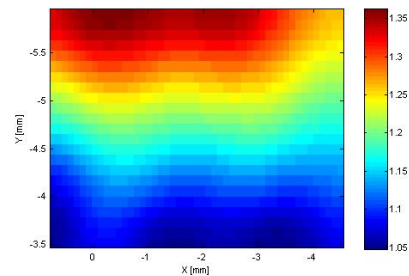


Fig. 3 Curva tensão-deformação obtida no ensaio de tracção.

Na Fig. 4 apresenta-se um exemplo do campo de deslocamentos medido com CDI, para uma de carga de 0.25N.



(a)



(b)

Fig. 4 Medição do campo de deslocamentos com CDI: (a) Amostra de tecido a ensaiar com a zona de medição e (b) campo de deslocamentos medidos na direcção vertical.

Da análise dos resultados obtidos com CDI pode verificar-se que o campo de deslocamentos ocorridos na superfície do tecido não é uniforme, verificando-se que na região central o valor dos deslocamentos é superior aos ocorridos nos bordos.

CONCLUSÕES

A técnica de Correlação Digital de Imagem mostrou estar bem adaptada à medição de

campos de deslocamentos em tecidos hiper-elásticos. Tendo em conta a amplitude de deslocamentos ocorridos, esta técnica correlaciona o deslocamento de pequenas subdivisões da imagem, permitindo a medição de deslocamentos de grande amplitude.

Esta técnica apresenta algumas dificuldades, sendo a principal a obtenção de um padrão aleatório. Das técnicas anteriormente utilizadas para criar o padrão aleatório em materiais convencionais algumas não se mostraram muito eficazes neste tipo de material. Assim, neste trabalho foi necessário testar vários tipos, tendo-se verificado que o uso de pó de *toner* permitiu a obtenção de resultados aceitáveis. Contudo, pensamos que será necessário otimizar a técnica para esta aplicação em concreto.

Da análise do campo de deslocamentos pode verificar-se que comportamento do tecido vaginal da mucosa vaginal humana não é uniforme. Trata-se de um tecido essencialmente fibroso e, como tal, este resultado já era espetável, tendo em conta a não uniformidade do tecido, nomeadamente no que diz respeito à orientação, comprimento, espessura e quantidade de colagénio nas fibras.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pela cedência do equipamento utilizado e ao Prof. Renato Natal coordenador do grupo de investigação sobre o comportamento de tecidos humanos.

REFERÊNCIAS

- [1] Afonso, J., Martins, P., et al, "Mechanical properties of polypropylene mesh used in pelvic floor repair", *Int Urogynecol J*, Vol. 19, pág. 375–380, 2008.
- [2] Martins, P., Natal, R., et al, "A Comparative Study of Several Material Models for Prediction of Hyperelastic Properties: Application to Silicone-Rubber and Soft Tissues", *Strain: An International Journal for Experimental Mechanics*, Vol. 42, pág. 135–147, 2006.
- [3] Hu, T., Ranson, W., Sutton, M., Peters, W., "Application of Digital Image Correlation Techniques to Experimental Mechanics", *Experimental Mechanics*, nº 3, Vol. 25, pág. 232-244, 1985.
- [4] Marcellierl, H., Vescovo, P., et al, "Optical analysis of displacement and strain fields on human skin", *Skin Research and Technology*, Vol. 7, pág. 246-253, 2001.