

## CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS SUBMETIDOS A GRANDES DEFORMAÇÕES UTILIZANDO UM MÉTODO DE MEDIÇÃO ÓPTICA

**Paulo Paes, Antonio Carlos Neto, Jakson Manfredini Vassoler e Eduardo Alberto Fancello**  
UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Mecânica  
Campus Universitário - Trindade - CEP 88040-970 - Florianópolis – Santa Catarina  
E-mail para correspondência: paulo88br@hotmail.com

A simulação numérica de componentes estruturais necessita modelos constitutivos apropriados para descrever o comportamento mecânico do material. A caracterização do material, por meio de ensaios experimentais associados a métodos de identificação de parâmetros, fornece parâmetros adequados para o modelo constitutivo do material.

A presença de grandes deformações em materiais como em borrachas ou plásticos, dificulta a obtenção dos parâmetros por meio de ensaios experimentais uniaxiais, frequentemente insuficientes para fornecer todas as informações necessárias ao modelo constitutivo. Segundo Wang *et al* (2002) e Jin *et al* (2007), pode-se observar em materiais plásticos a presença de deformações heterogêneas localizadas, onde necessita-se conhecer o campo inteiro de deslocamentos para identificar corretamente os parâmetros do modelo constitutivo.

Técnicas de medição por contato, como o uso de *clip-gauges*, são limitadas por serem pontuais, assim como o uso de extensômetros, onde a deformação local pode ultrapassar a faixa de utilização destes. Em casos de grandes deformações é adequada a utilização de técnicas de medição sem contato com o corpo de prova, como as técnicas de medição ópticas, capazes de descrever o comportamento do campo completo de deslocamentos sobre a superfície do corpo de prova.

O presente trabalho tem como objetivo estudar uma metodologia para a caracterização de materiais poliméricos, associando uma técnica de medição óptica a um tradicional ensaio experimental uniaxial. A metodologia consiste na utilização da técnica óptica de correlação de imagens digitais (DIC) para a obtenção de dados a serem usados no procedimento de identificação de parâmetros. Esta técnica foi estudada extensivamente por Sutton *et al* (2003), Lu *et al* (2000) e Pan *et al* (2009) e apresentou ótima aceitação no meio acadêmico e industrial. A identificação dos parâmetros do material é feita por meio de uma otimização paramétrica realizada no software comercial de elementos finitos ANSYS. Na análise é usado o PVC que é facilmente encontrado em chapas para produção de corpos de prova, possui baixo custo e alto valor de alongamento.

A técnica DIC é uma técnica de medição óptica que rastreia pontos predefinidos na superfície do corpo de prova em uma seqüência de imagens digitais, obtidas em um ensaio experimental através de câmeras de vídeo. O método essencialmente calcula a posição de um ponto, chamado *marker*, na seqüência de imagens, correlacionando os valores de cinza dos *pixels* vizinhos. A correlação é feita em pequenas áreas quadradas no entorno do *marker*, chamadas de *subsets*, onde o centro geométrico do *subset* é o próprio *marker*.

Uma rotina é feita para rastrear os pontos desejados na seqüência de imagens através de um coeficiente de correlação, que correlaciona os valores de escala de cinza dos *pixels* de um *subset* de referência com um *subset* qualquer na seqüência de imagens.

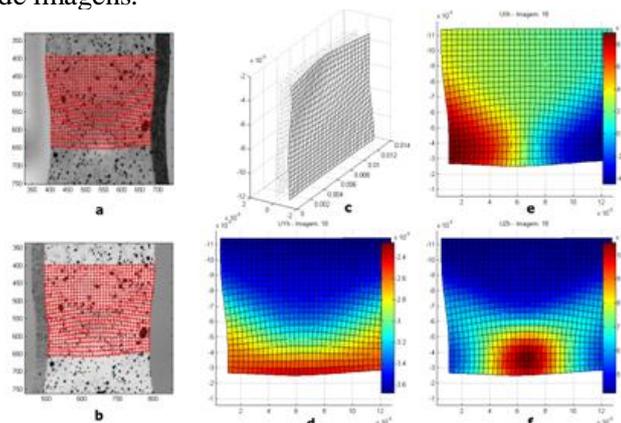


Figura 1 – Medida do campo de deslocamento tridimensional através do método DIC.

Primeiramente, aplica-se uma marcação aleatória de pontos com *spray* sobre a superfície do corpo de prova, que de acordo com Chu *et al* (1985) deve fornecer as informações necessárias para poder correlacionar os *subsets* ao longo do ensaio. Posteriormente se realiza o ensaio uniaxial onde se adquire uma seqüência de imagens do corpo deformando. Nesta etapa são obtidos os dados experimentais da máquina de ensaio (deslocamento da máquina e força de reação) e do DIC (deslocamentos dos *markers* - pontos de interesse - sobre a superfície do corpo de prova). Os resultados dos deslocamentos tridimensionais dos *markers* (pontos vermelhos) através do método DIC são apresentados na Fig. 1.

Uma vez que o estudo tem como objetivo primário o desenvolvimento de uma metodologia para caracterização de materiais aplicando técnicas ópticas, deve-se definir um modelo constitutivo capaz de representar de forma adequada o comportamento do material. O modelo adotado para o estudo com o PVC é o elasto-plástico com encruamento isotrópico, onde os quatro parâmetros a serem identificados são o módulo de elasticidade  $E$ , o coeficiente de Poisson  $\nu$ , a tensão de escoamento  $\sigma_e$  e o módulo de encruamento  $H$ . Este modelo foi escolhido devido à sua simplicidade e capacidade de representar problemas não lineares.

Os dados experimentais alimentam um processo de otimização onde o deslocamento da máquina de ensaios é utilizado com uma condição de contorno sobre o corpo de prova discretizado no software ANSYS.

A força de reação obtida na máquina de ensaios e os deslocamentos dos *markers* obtidos no DIC são os dados experimentais utilizados na função objetivo a ser minimizada. A função objetivo é a soma ponderada das diferenças quadráticas normalizadas entre a força de reação e os deslocamentos dos *markers* experimentais e aqueles calculados no ANSYS (FEM), para cada passo de carga.

O algoritmo de identificação dos parâmetros do material é apresentado na Fig.2. Inicialmente assume-se um valor inicial para os parâmetros, que juntamente com o deslocamento medido pela máquina de ensaio (conhecido), são os dados de entrada na simulação numérica. Após a solução do problema numérico, o software fornece os valores da força de reação e os deslocamentos nos nós que representam os *markers*. Estes são utilizados para avaliar a função objetivo que deve ser minimizada. No processo de otimização o software realiza uma atualização dos valores dos parâmetros e procede com uma nova iteração até que a função seja minimizada, ou seja, até que a função objetivo alcance uma tolerância pré-definida e o comportamento mecânico experimental e numérico sejam aproximados.

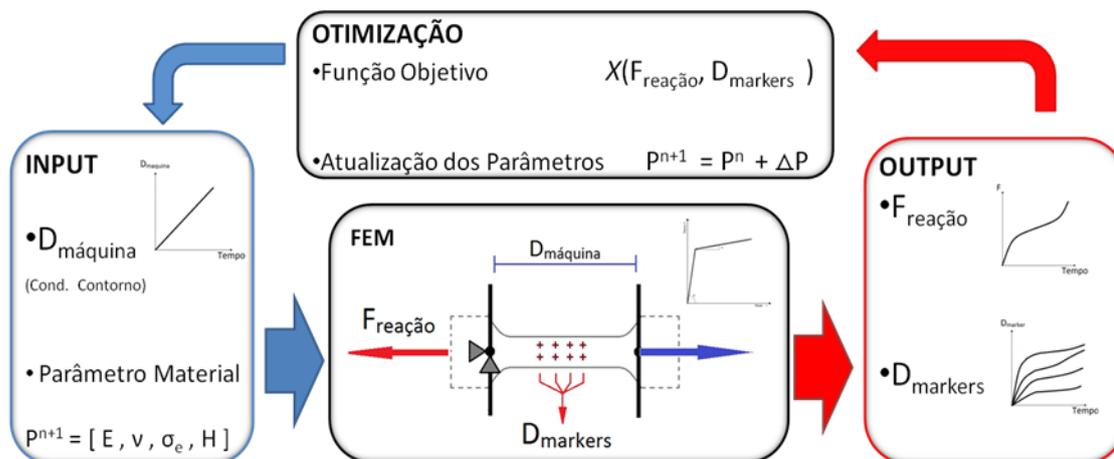


Figura 2 – Método Iterativo de Caracterização do Material.

### Referências Bibliográficas

- Hung, P. C., Voloshin, A. S., "In-plane strain measurement by digital image correlation" J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., vol. 25(3), pp. 215-221, July-Sept, 2003
- Jin, H., Lu, W.Y., Scheffela, S., Hinnerichs, T. D., Neilsen, M. K., "Full-field characterization of mechanical behavior of polyurethane foams" International Journal of Solids and Structures, vol. 44, 2007, pp. 6930–6944.
- Lu, H., Cary P. D., "Deformation measurements by digital image correlation: Implementation of a second-order displacement gradient", Experimental Mechanics, 2000.
- Pan, B., Qian K., Xie, H., Asundi, A., "Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review", Measurement Science and Technology, 2009.
- Sutton, M. A., Orteu, Jean-josé; Schreer, Hubert, W., "Image correlation for shape, motion and deformation measurements: basic concepts", Theory and Applications, Springer, 2003.
- Wang, Y., Cuitino, A. M., "Full-field measurements of heterogeneous deformation patterns on polymeric foams using digital image correlation", International Journal of Solids and Structures, 2002