



Caracterização mecânica de fitas de Kapton a baixas temperaturas e aprimoramento de técnicas de correlação digital de imagens

Bolsista PIBIC: Eduarda Nicoletto Ayres de Oliveira

Orientador: Dr. Guilherme Calligaris

Período: Jan-Jul de 2020 no Laboratório Nacional de Luz Síncroton, LNLS/CNPEM.

I. Introdução – Motivação e Objetivos

Com o avanço da tecnologia, as demandas por componentes eletrônicos mais eficientes e menores crescem cada vez mais. Com esse aumento de procura, tornou-se cada vez mais importante antever novos tipos de dispositivos, bem como novas técnicas de fabricação. É neste contexto que filmes finos se tornam tão vantajosos, devido ao baixo custo e compatibilidade com grandes áreas, alta escalabilidade, além de integração quase heterogênea. Além disso, em um mundo em que os objetos vêm de todas as formas e tamanhos, a demanda por dispositivos eletrônicos deformáveis e esticáveis cresceu de forma extensiva, dando espaço para o desenvolvimento da *eletrônica flexível*, setor que utiliza de substratos flexíveis para deposição de componentes eletrônicos que podem ser deformados para diversos usos, como implantes médicos inteligentes, *soft robotics*, novas técnicas produção em massa, e.g. *roll to roll processing*, entre outros.

Nesse contexto, este trabalho foi motivado a avançar na caracterização de substratos flexíveis, neste caso o Kapton, e também na instrumentação usada nesse tipo de estudo, como o dispositivo de tensão biaxial desenvolvido no LNLS, o 2D-MASI (Bi-Axial Multi-Analysis Strain Instrument), que usará como ferramenta de medida de deformação a técnica de Correlação Digital de Imagens.

A caracterização mecânica do Kapton é feita através de ensaios de tração, buscando observar a elasticidade do material no regime de baixas temperaturas e seu escoamento de tensão após ser estirado até um valor fixo. Apesar de dados sobre o Kapton na temperatura ambiente serem conhecidos, as informações são escassas quando se trata de regimes criogênicos, condição interessante devido às propriedades magnéticas que filmes finos antiferromagnéticos que o utilizam como substrato têm neste regime de temperaturas (1).

A outra vertente desse trabalho, a Correlação Digital de Imagens (DIC, do inglês *Digital Image Correlation*) desenvolvida por M. A. Sutton e N. Bruck, vem mostrando que pode contribuir em estudos de deformação (2). Essa técnica consiste em um método de

análise que consegue determinar o contorno e os deslocamentos de um objeto sob carga, tomando para isso uma sequência de imagens (3). Dessa forma, ela pode ser usada para medir deformações de forma não invasiva, eficiente, de montagem e manuseio relativamente simples, podendo também ser adaptada para medidas *in situ*. Esse método vem ganhando popularidade na comunidade científica (2). O uso do DIC é condicionado ao contraste observado na superfície do material de interesse, sendo comum depositar sobre ele um “padrão de dispersão”. Logo, o aprimoramento da técnica de DIC proposto aqui pretende encontrar um padrão que otimize a convergência do algoritmo, e então realizar testes para verificar o funcionamento do método.

II. Caracterização Mecânica de Kapton

O tipo de poliimida utilizado para o estudo dos efeitos de tensões aplicadas foi o Kapton HN de espessura de 50 μ m. O Kapton foi desenvolvido pela DuPont no final dos anos sessenta e é amplamente usado como substrato para deposição de filmes finos e impressão de circuitos na eletrônica flexível devido a suas propriedades termoplásticas e resistência a altas pressões e temperaturas (4). Nesse estudo, foram usadas amostras da Figura 1:

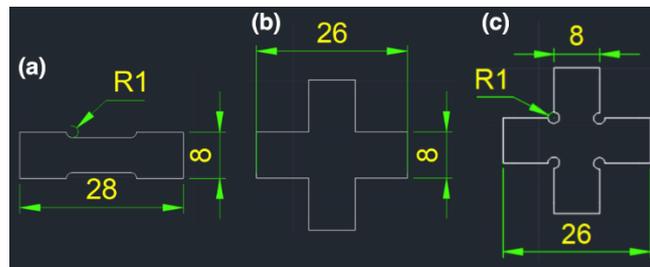


Figura 1: a) Amostra modelo dogbone, b) amostra modelo cruz e c) amostra modelo cruz indentada. Cotas em mm.

O primeiro modelo é o formato ideal para ser usado em ensaios de tração com tensão aplicada em um eixo (5), como é o caso do Linkam TSTV250 Stage, dispositivo usado no projeto (Figura 2-a). Essas amostras foram esticadas até o rompimento a temperatura ambiente e sua curva analisada, fornecendo módulo de Young igual a $(1,68 \pm 0,05)$ GPa.

Para dispositivos biaxiais como o 2D-MASI (Figura 2-b), desenvolvido no laboratório, o formato cruciforme é o ideal para ensaios de tração (6).

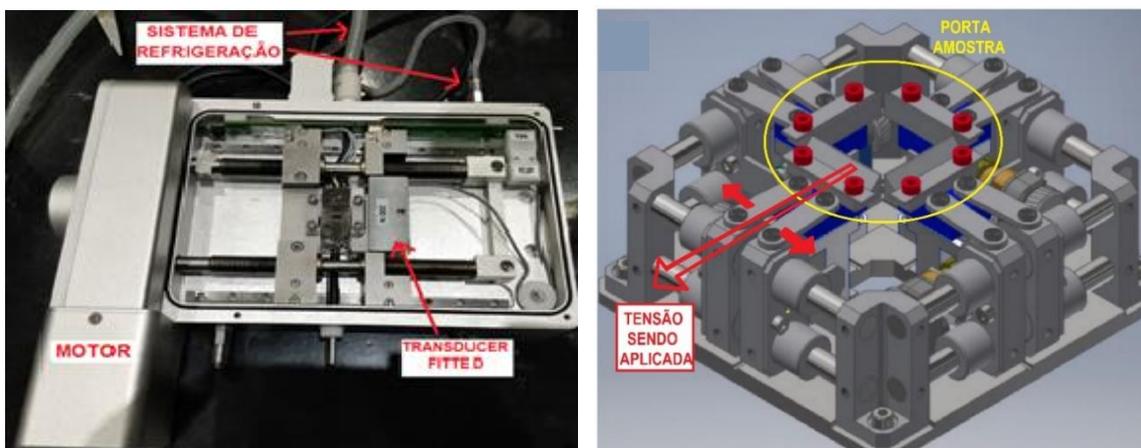


Figura 2: a) Foto do dispositivo Linkam, usado no projeto e b) Projeto do dispositivo 2D-MASI. O círculo em amarelo indica onde a amostra é fixada, as setas preenchidas em vermelho indicam como o braço do dispositivo é puxado pelo motor, e a seta vermelha sem preenchimento indica o eixo em que a tensão é aplicada pelo movimento do braço.

Dois formatos cruciformes foram testados: com e sem indentação, esperando-se verificar qual é o modelo ideal para ensaios de tração 2D. O modelo cruz indentada se mostrou compatível com o *dogbone* com módulo de Young igual a $(1,69 \pm 0,03)$ GPa, indicando que é possível fazer a caracterização das amostras biaxiais usando um dispositivo uniaxial. Assim, foi analisado por último a amostra cruz sem indentação que se mostrou incompatível com os resultados anteriores, com módulo de Young igual a $(2,13 \pm 0,03)$, indicando que o ideal para ensaios biaxiais é o formato cruciforme indentado. Temos na Figura 3-a um gráfico de comparação entre os trechos lineares das curvas do modelo *dogbone* e cruz indentada.

Foi feito também, em temperatura ambiente com amostras cruz indentada, um experimento em que se buscava analisar a variação da tensão ao longo do tempo quando aplicada uma deformação constante, bem como os efeitos dessa variação em um ensaio de tração. Observou-se uma queda de tensão das amostras de forma praticamente exponencial em função do tempo, Figura 3-b. Em 150 s, a tensão decaiu em torno de 39% do decaimento observado durante o tempo total do experimento (30 minutos). A média de tensão inicial das amostras durante o ensaio temporal é $(21,5 \pm 0,8)$ N/mm², e ao final dos trinta minutos a $(1,09 \pm 0,08)$ %, ela caiu ~19,6%, para $(17,3 \pm 0,5)$ N/mm². No entanto, esta queda não afeta o resultado para módulo de Young dos ensaios de tração.

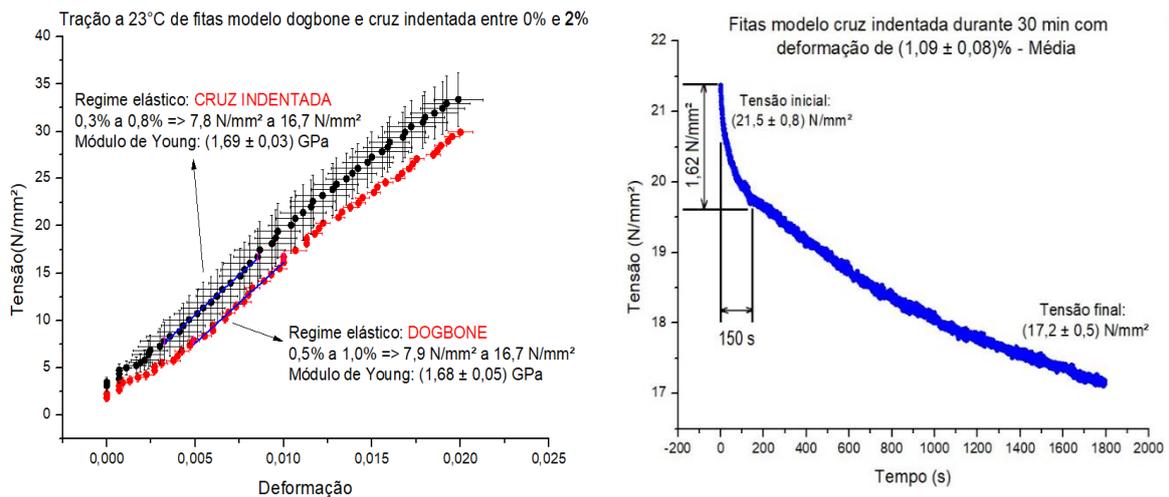


Figura 3: a) Curvas de tração para modelos dogbone e cruz indentada. b) Gráfico do decaimento de tensão em uma amostra com ~1% durante 30 minutos.

Em seguida, foram analisados os módulos de elasticidade e sua dependência com a temperatura das amostras. Além disso, também foram feitas análises do comportamento do Kapton quando se abaixava a temperatura enquanto se mantinha aplicada uma tensão constante. Observou-se um enrijecimento da amostra e o aumento do seu módulo de Young com a queda de temperatura.

III. Correlação Digital de Imagens (DIC)

Na correlação digital de imagens, são tiradas fotografias do corpo de prova: uma sem estar deformada e as outras com uma tensão aplicada. Dado um ponto do corpo e sua assinatura na imagem não deformada, o algoritmo pesquisa na imagem do corpo deformado um ponto cuja assinatura maximiza uma função de similaridade. A distância

entre esses pontos pode ser associada à deformação do objeto através das equações do tensor de deformação. Uma esquemática do processo se encontra na Figura 4 abaixo.

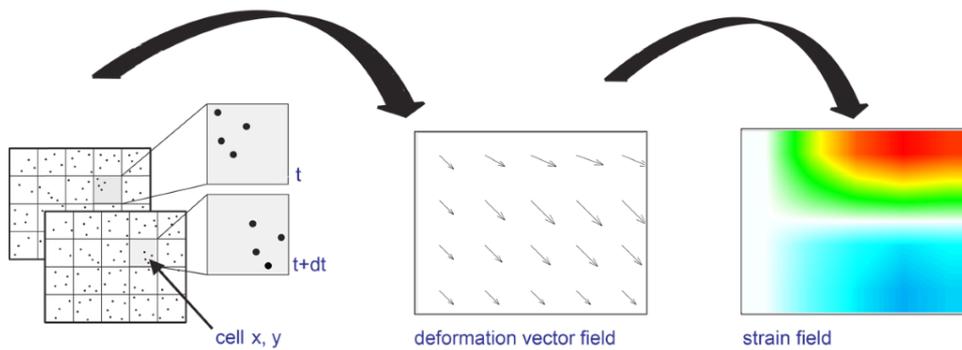


Figura 4: Processo em que os deslocamentos são transformados em vetores de deslocamento, e em seguida em campos de deformação, (3).

Para filmes finos de interesse, que apresentam superfície suave e brilhante, não temos o contraste necessário para a utilização da técnica de DIC. Dessa forma foi desenvolvido um padrão artificial (Figura 5-a) para auxiliar o algoritmo a convergir, fornecendo resultados mais rapidamente. Os experimentos foram feitos na cabana experimental da linha de luz IMX, (LNLS – CNPEM), usando uma câmera pco.edge 4.2, com resolução de 2048 x 2048 pixel e com tamanho de pixel de 6,5 x 6,5 μm^2 .

Foram realizados dois tipos de experimentos: em um é realizada a translação da amostra adaptada e no outro é feito seu estiramento. A amostra como da Figura 1-c foi modificada para ter largura igual a 56 mm para ser usada no 2D-MASl, e nela foi depositada um filme fino circular de ouro de diâmetro igual a 3 mm e espessura 40 nm depositado sob uma camada de 10 nm de tântalo (para aderência do filme). O primeiro teste foi o de translação na horizontal, onde foi identificada a incerteza do desvio térmico que deveria ser corrigida segundo teste. Na Figura 5-b, temos um gráfico que mostra a posição da amostra antes e depois do desvio ser corrigido.

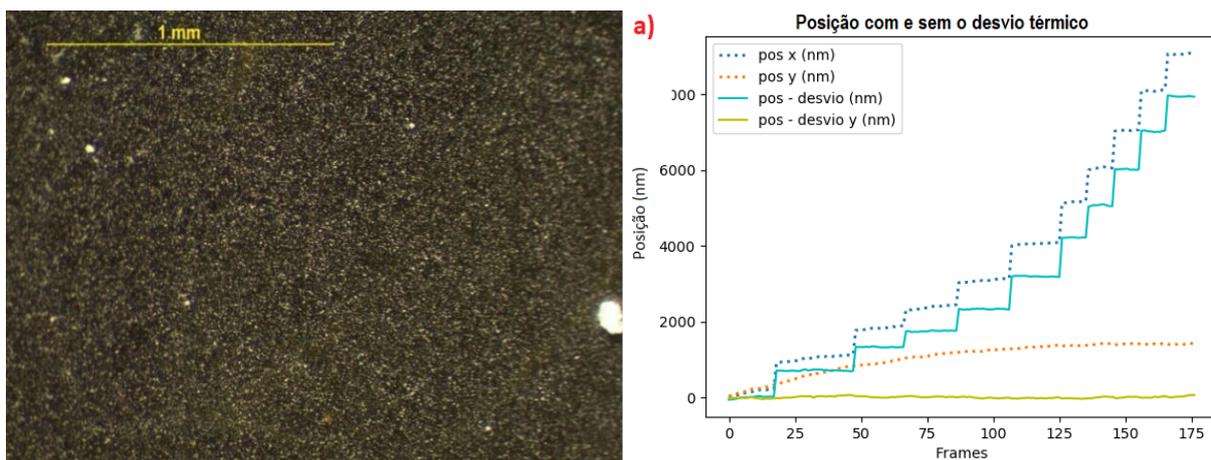


Figura 5: a) Padrão artificial obtido para ser usado em DIC. b) Curvas que representam a translação do filme por número de frames, as em azul claro e escuro representam o eixo horizontal e as laranja e amarela representam o eixo vertical, as preenchidas sendo os dados brutos e as pontilhadas os dados corrigidos

No segundo teste, a amostra foi esticada em termos de passos dados pelo motor e as imagens foram obtidas. Aplicando o DIC, foi possível verificar o funcionamento do algoritmo

como pode ser visto pelo campo de deslocamento dos pontos e de deformação na Figura 6 abaixo, onde todos os braços do 2D-MASI foram esticados.

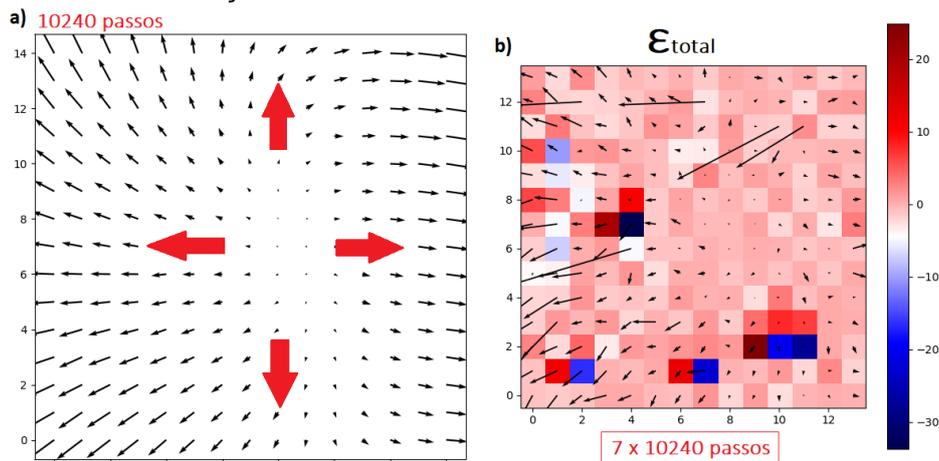


Figura 6: a) Campo de deslocamento da amostra dados 10240 passos do motor nos dois eixos. b) Campo de deformação sobreposto ao de deslocamento dados 71680 passos.

IV. Referências

1. T. Jungwirth, X. Marti, P. Wadley. Antiferromagnetic spintronics. *Nature Technology*. 2016.
2. Roux, F. Hild and S. Digital Image Correlation: from Displacement Measurement to Identification of Elastic Properties - a Review. 2006.
3. Lavigation. Digital Image Correlation (DIC). [Online] [Citado em: 06 de 08 de 2020.] <https://www.lavigation.de/en/techniques/dic-dvc/>.
4. Soares, Márcio Medeiros. *Desenvolvimento de dispositivo de tensão mecânica biaxial para estudo in-situte filmes finos por técnicas de síncrotron*. s.l. : Projeto de pesquisa e desenvolvimento - Chamada Universal MCTIC/CNPq, 2018.
5. Gedeon, Mike. Tensile Testing, Technical Tidbits. [Online] 2011.
6. Boehler, S. Demmerle and J. P. Optimal Design of Biaxial Tensile Cruciform Specimens. 1991.