ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE TÉCNICAS FOTOTÉRMICAS

Felipe Borowiec Teodoro (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Prof. Dr. Nelson Guilherme Castelli Astrath (Orientador). E-mail: ngcastrath@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR.

Física, Física da matéria condensada, Prop. Óticas e Espectrosc. da Mat. Condens; Outras Inter. da Mat. com Rad. e Part.

Palavras-chave: Espectroscopia, Termoelasticidade, Espelho Térmico

RESUMO

O projeto teve como objetivo o estudo teórico e experimental de técnicas fototérmicas, tendo como técnica escolhida a Espectroscopia de Espelho Térmico (Photo Thermal Mirror – PTM), com enfoque no modelo de baixa absorção (*Low Absorption Model* – LAM), considerando uma amostra semi-infinita. Inicialmente, foram formulados matematicamente e fisicamente os modelos, estabelecendo uma fundamentação teórica para a técnica. A partir das expressões obtidas, foram analisados seus respectivos comportamentos gráficos, verificando-se sua consistência e interpretação física. Posteriormente, por meio do Método dos Elementos Finitos, foi investigada a validade da aproximação de amostra semi-infinita em função do aumento de sua espessura, constatando-se que o modelo permanece válido para espessuras superiores a 2,5 mm. Com base nesses resultados, foi realizada medidas experimentais com o objetivo de validar a técnica e avaliar sua aplicabilidade na caracterização termo-óptica de materiais. Os resultados obtidos demonstraram concordância com as previsões teóricas e numéricas, evidenciando a consistência do modelo empregado. Conclui-se, portanto, que a Espectroscopia de Espelho Térmico apresenta fundamentação teórica e experimental consistente, mostrando-se uma alternativa eficiente para a determinação de propriedades termo-ópticas de materiais.

INTRODUÇÃO

As técnicas fototérmicas destacam-se atualmente por sua versatilidade e precisão, sendo aplicadas desde o desenvolvimento de sensores até a microscopia avançada. Entre essas metodologias, a Espectroscopia de Espelho Térmico (PTM) tem ganhado destaque no cenário científico.

A técnica fundamenta-se na variação da intensidade de um feixe laser gaussiano, decorrente da deformação termoelástica do material após aquecimento induzido por laser. O arranjo experimental emprega dois lasers: o laser de excitação, responsável por elevar localmente a temperatura na região incidida da amostra, e o laser de prova, que monitora a perturbação no campo elétrico causada pela deformação

termoelástica, a qual atua como um elemento óptico, originando o sinal de PTM (ASTRATH *et al.*, 2007).
Diante disso, este trabalho tem como objetivo o estudo teórico e experimental da técnica, analisando as limitações do modelo pelo Método de Elementos Finitos e observar a congruência com os dados experimentais obtidos, constituindo um trabalho de caráter teórico e experimental.

REVISÃO DE LITERATURA

A dedução matemática fundamenta-se em um fluxo físico encadeado: calcula-se o perfil térmico gerado pelo feixe de excitação, acopla-se a temperatura à deformação termoelástica e determina-se o deslocamento de fase no feixe de prova. Por fim, com base na teoria da difração de Fresnel, obtêm-se o campo elétrico no detector e a intensidade do sinal.
A temperatura na amostra é obtida pela solução da Equação de Difusão de Calor em coordenadas cilíndricas com fonte de calor gaussiana e aproximação de baixa absorção óptica. Aplicando-se as transformadas integrais de Laplace, Fourier-Cosseno e Hankel (DEBNATH; BHATTA, 2015).
A distribuição de temperatura está acoplada à equação termoelástica (NOWACKI, 1962). A solução é decomposta em partes homogênea e particular via equações de Poisson e Biharmônica, qual resulta no deslocamento superficial.
O deslocamento u_z causa uma perturbação de fase no campo elétrico do feixe de prova e mediante a Teoria da Difração de Fresnel, determina-se a propagação do campo elétrico do feixe de prova até o detector (BORN; WOLF, 1999), obtendo-se a variação temporal da intensidade do feixe de prova (BIALKOWSKI; ASTRATH; PROSKURNIN, 2019).

$$I(t) = \left| C_1 \int_0^{\infty} \quad e^{-(1+iV)} e^{-i\phi(g,t)} dg \right|^2$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica de Espelho Térmico demonstra ser uma ferramenta altamente eficaz para a determinação de propriedades termo-ópticas de materiais, apresentando excelente concordância entre a fundamentação teórica e os dados experimentais. Contudo, a figura 1 evidencia as limitações na aplicabilidade do modelo analítico LAM semi-infinito em amostras finas, observa-se um desvio no sinal para espessuras inferiores a 2,5 mm, limite abaixo do qual os efeitos de amostra fina passam a influenciar o sinal e a aproximação de meio semi-infinito deixa de ser válida (ZANUTO, 2012).

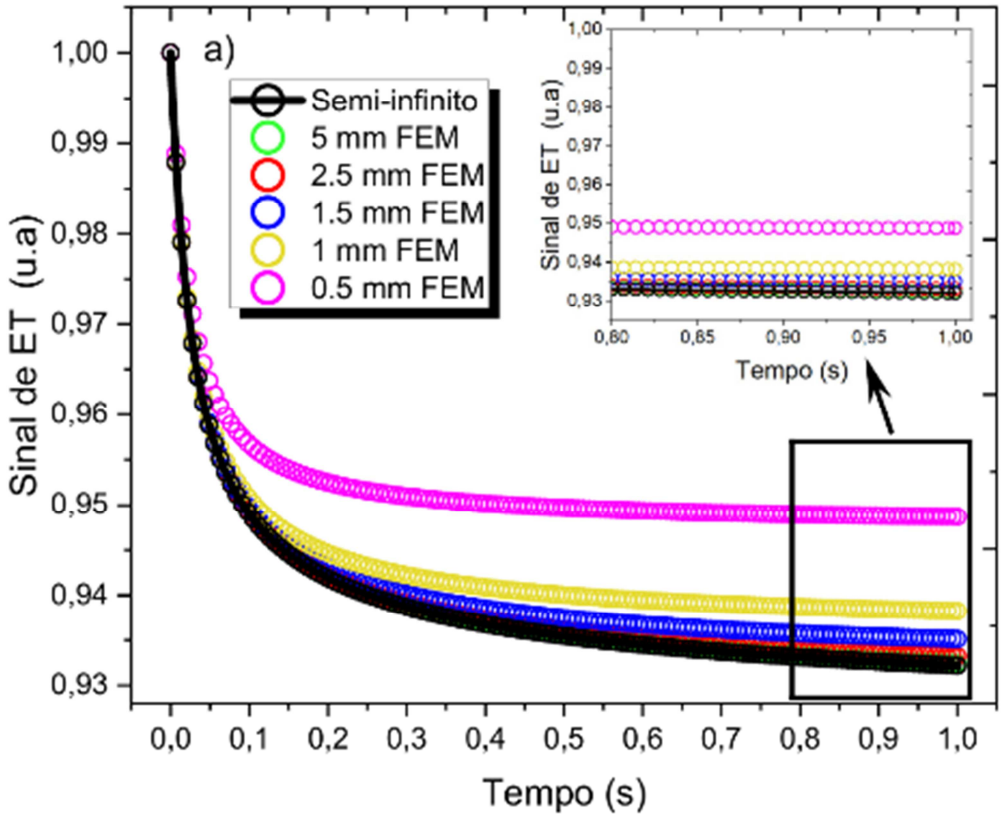


Figura 1–Transientes de Espelho Térmico, comparando o sinal do modelo Semi-infinito com o FEM.

CONCLUSÕES

A técnica de Espelho Térmico confirma sua eficácia na caracterização de propriedades termo-ópticas, amparada por uma sólida validação teórico-experimental. No entanto, o modelo LAM semi-infinito apresenta limitações de aplicação em função da espessura do material, mostrando-se válido para espessuras a partir de 2,5 mm e apresentando variações/desvios no sinal em amostras com espessuras menores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao fomento fornecido pelo CNPQ-FA-UEM e agradeço ao meu orientador pela oportunidade.

REFERÊNCIAS

Livro

DEBNATH, Lokenath; BHATTA, Dambaru**. Integral transforms and their applications**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. p.98, p.144, p. 345.

NOWACKI, W. **Thermoelasticity**. Reading: Addison-Wesley; Oxford: Pergamon Press, 1962. p.10

BORN, Max; WOLF, Emil**. Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light**. 7. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p.425.

BIALKOWSKI, Stephen E.; ASTRATH, Nelson G. C.; PROSKURNIN, Mikhail A. **Photothermal spectroscopy methods**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019. P.41.

Artigo de revista

ASTRATH, N. G. C.; MALACARNE, L. C.; PEDREIRA, P. R. B.; BENTO, A. C.; BAESSO, M. L.; SHEN, J. Time-resolved thermal mirror for nanoscale surface displacement detection in low absorbing solids. **Applied Physics Letters**, [*S. l.*], v. 91, n. 19, 191908, 9 nov. 2007. DOI: https://doi.org/10.1063/1.2812542.

Monografias, dissertações e teses

ZANUTO, Vitor Santaella. **Efeito de amostra finita na espectroscopia de espelho térmico**. Orientador: Prof. Dr. Nelson Guilherme Castelli Astrath. 2012. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.