Inovação Em Imagens Para Aplicações Biomédicas E Materiais: Construção De Protótipo De Tomografia Fotoacústica

BANDEIRA, Sara Gabrielly[1]; SCHEFER, Caroline Monteiro[1]; SOMER, Aloisi[1];

Universidade Estadual de Ponta Grossa - Departamento de Física[1]

25040826@uepg.br[1]

Palavras-Chave: Tomografia fotoacústica; Automação em Python; Aquisição de dados.

Resumo

Este trabalho apresenta a implementação de um protótipo de Tomografia Fotoacústica (PAT) de baixo custo, integrando componentes ópticos, eletrônicos e mecânicos acessíveis. Um software em Python controla o posicionamento bidimensional adaptado de uma gravadora a laser via G-code, sincroniza o disparo do laser e a aquisição do sinal em osciloscópio por VISA, com rotinas concorrentes e tempo de estabilização mecânica. Sinais fotoacústicos foram detectados por sensor piezoelétrico com amplificação analógica. Ensaios em placa perfurada permitiram mapear variações de amplitude e gerar imagens 2D iniciais, indicando viabilidade para aplicações em materiais e na área biomédica em curto prazo.

I. Introdução

A tomografia fotoacústica (Photoacoustic Tomography – PAT) é uma técnica híbrida de imagem biomédica que combina excitação óptica e detecção acústica para produzir imagens internas com alto contraste e boa resolução espacial (ZHOU; YAO; WANG, 2016). Seu funcionamento baseia-se no efeito fotoacústico: a absorção de pulsos curtos de luz (tipicamente laser) promove um aquecimento local transiente e, por expansão termoelástica, gera ondas de pressão que se propagam como ultrassom (ROSENCWAIG; GERSHO, 1976; SOMER et al., 2013). Transdutores ultrassônicos detectam essas ondas e, após processamento e reconstrução computacional, obtêm-se mapas 2D/3D relacionados às propriedades ópticas e estruturais do meio (ZHOU; YAO; WANG, 2016).

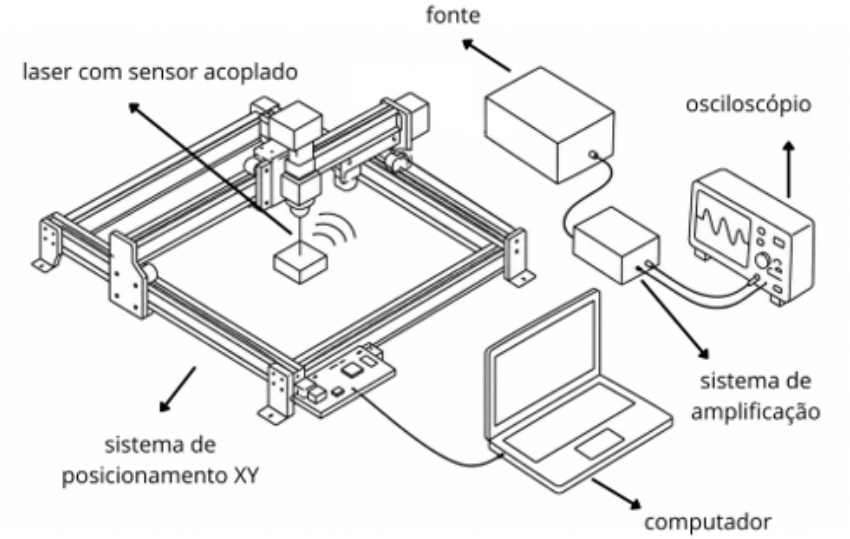
Apesar do potencial clínico e tecnológico, a adoção da PAT ainda é limitada pelo custo e pela complexidade de sistemas comerciais, que exigem lasers pulsados, transdutores de banda larga, eletrônica de sincronização e softwares proprietários, elevando o investimento e dificultando manutenção e calibração (ZAFAR et al., 2019). No Brasil, o

desenvolvimento de instrumentação própria e acessível permanece restrito, o que reforça a dependência tecnológica e a necessidade de soluções locais de baixo custo (MIRANDA, 2020).

Diante desse cenário, este trabalho propõe a implementação e validação de um arranjo experimental de PAT de baixo custo, com ênfase na automação e no controle computacional do sistema. Para isso, desenvolve-se um software em Python capaz de controlar o posicionamento (motores de passo de uma gravadora a laser), ajustar parâmetros de excitação óptica e sincronizar a aquisição via osciloscópio digital, visando compor um ecossistema automatizado e reprodutível para futuras aplicações em engenharia de materiais e biomédicas.

II. Fundamentação Teórica/Materiais e Métodos

Fig. 1. Visão geral do arranjo experimental, destacando o laser, a mesa de varredura espacial adaptada, o sensor piezoelétrico e o osciloscópio digital.

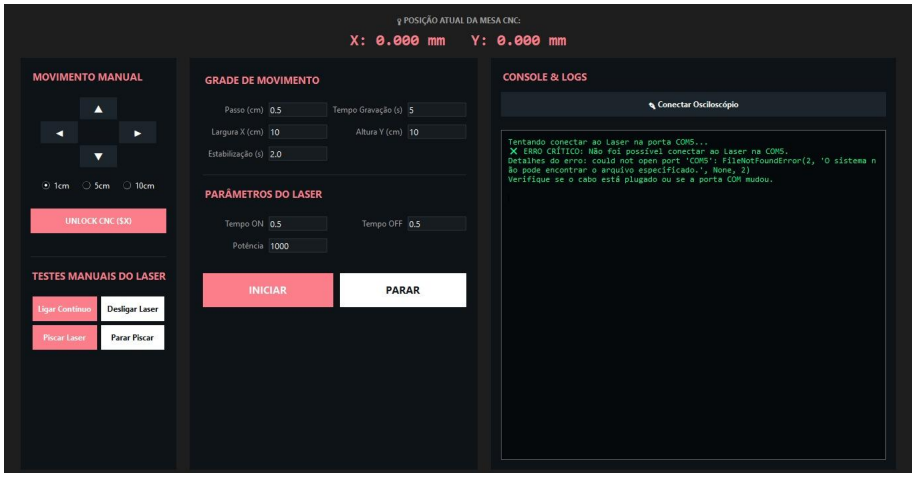


Fonte: A autora.

Foi desenvolvida a montagem e validação de um sistema experimental voltado para a detecção de sinais fotoacústicos e geração de imagem, com a finalidade de elaborar um primeiro protótipo da técnica de Tomografia Fotoacústica (PAT) de baixo custo. O arranjo físico foi estruturado a partir da integração de componentes eletrônicos e mecânicos acessíveis, gerenciado por um sistema computacional. O sistema de excitação é composto por um módulo laser utilizado para irradiar a amostra, alimentado por uma fonte de tensão contínua externa. O posicionamento do sensor sobre a amostra é realizado por um módulo de varredura espacial bidimensional (eixos X e Y), que foi adaptado a partir

da estrutura mecânica e dos motores de passo de uma gravadora a laser comercial. Para a captação do som, utiliza-se um sensor piezoelétrico comercial de baixo custo, sensível a variações de pressão, o qual capta a onda de pressão gerada pelo efeito fotoacústico. Como o sinal gerado apresenta baixa amplitude, da ordem de milivolts, o sensor opera acoplado a um circuito amplificador analógico. A saída desse amplificador é conectada a um osciloscópio digital, que assume a função de digitalizar a forma de onda em alta taxa de amostragem. A disposição física de todos esses componentes montados no laboratório pode ser observada na Figura 1.

Fig. 2. Interface gráfica do software desenvolvido em Python para o controle unificado da varredura CNC, acionamento do laser e aquisição de dados.



Fonte: A autora.

A comunicação e o controle do sistema são centralizados em um computador, que executa um software de automação desenvolvido em Python. Para permitir que a aquisição de dados no osciloscópio e a movimentação do estágio ocorram de forma simultânea e estável, o programa foi implementado através de múltiplas *threads*. A operação é realizada por meio de uma interface gráfica (biblioteca `tkinter`) apresentada na Figura 2, na qual são definidos a área de varredura da amostra e a resolução do mapeamento, isto é, o passo espacial entre as medições.

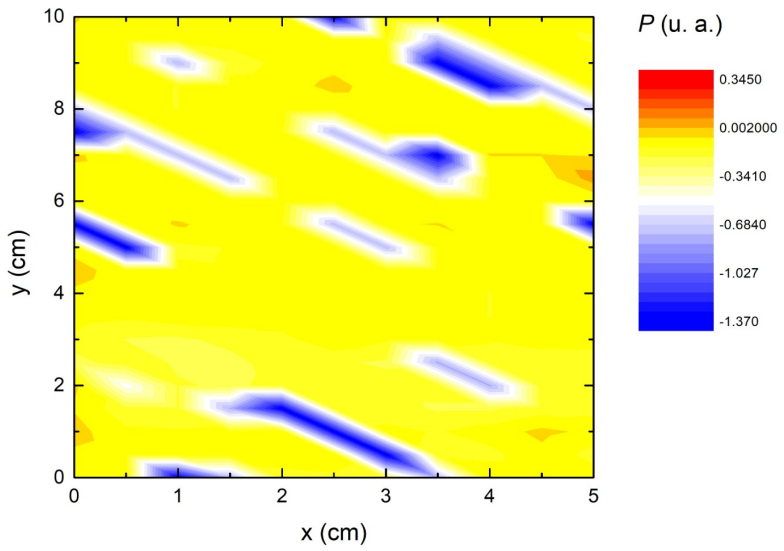
Durante o procedimento de varredura, o fluxo de automação segue uma sequência de etapas. O software calcula a matriz de coordenadas (grade de varredura) e converte os valores geométricos. Em seguida, envia instruções em G-code via porta serial (biblioteca `pyserial`) para a placa controladora, movimentando os eixos até o ponto alvo. Ao atingir a coordenada, é aplicado um tempo de estabilização mecânica programado, sem aquisição de dados, para reduzir o ruído vibracional dos motores de passo. Após a pausa, uma *thread* aciona o laser por comandos seriais (liga/desliga), modulando a frequência de

disparo conforme os tempos definidos pelo usuário. Simultaneamente, a *thread* principal comunica-se com o osciloscópio via protocolo VISA (biblioteca `pyvisa`) e solicita a forma de onda do sinal amplificado. Os dados binários são convertidos para escalas reais de tempo e amplitude, associados à coordenada (X, Y) e salvos sequencialmente em um arquivo de texto (`.txt`). O ciclo se repete para todos os pontos da grade, gerando ao final um arquivo bruto com a assinatura fotoacústica de toda a amostra, pronto para processamento posterior.

III. Resultados

O módulo computacional foi integrado com sucesso ao sistema experimental. O software desenvolvido em Python permitiu configurar e controlar o deslocamento nos eixos X e Y, a modulação do laser e a aquisição dos sinais pelo osciloscópio. A inclusão de um tempo de estabilização antes de cada medida reduziu os ruídos causados pelas vibrações dos motores de passo, melhorando a qualidade dos sinais registrados pelo transdutor piezoelétrico. Além disso, a execução das principais rotinas em threads separadas contribuiu para manter o funcionamento contínuo e sincronizado do sistema durante o mapeamento.

Fig. 3. Imagem fotoacústica obtida pelo sistema de varredura automatizado.



Fonte: A autora.

Com o software controlando as coordenadas e os instrumentos, foram realizados ensaios de prova de conceito. Para avaliar a resolução espacial e a sensibilidade do sistema, foi feita uma varredura automática em uma placa de teste com furos. No mapeamento, o laser percorreu a grade programada: nas regiões sólidas, a luz foi mais absorvida e o sinal

fotoacústico foi maior; nos furos, o sinal caiu de forma evidente. Todos os dados foram registrados sequencialmente em um arquivo gerado em Python.

A partir do processamento da matriz gerada pelo código, foi possível plotar a assinatura fotoacústica da amostra, resultando na obtenção das primeiras imagens bidimensionais experimentais do protótipo, conforme ilustrado na Figura 3. O contraste visual evidencia a diferença de captação acústica entre a superfície sólida da placa (maior absorção/sinal) e as regiões dos buracos (menor sinal).

IV. Conclusões

Este trabalho demonstrou a viabilidade de desenvolver um sistema de tomografia fotoacústica de baixo custo a partir do reaproveitamento da estrutura mecânica e dos motores de uma gravadora a laser comercial. A solução permitiu realizar o deslocamento controlado da amostra nos eixos X e Y, reduzindo a necessidade de equipamentos industriais de maior custo. O software desenvolvido em Python integrou o posicionamento do sistema, o acionamento do laser e a aquisição dos sinais pelo osciloscópio. A inclusão de um intervalo para estabilização mecânica contribuiu para reduzir as vibrações dos motores e melhorar a qualidade dos sinais registrados. As primeiras matrizes de dados e imagens fotoacústicas confirmaram o funcionamento e o sincronismo do conjunto experimental. Assim, o protótipo constitui uma plataforma funcional, acessível e com potencial para estudos de caracterização de materiais.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo projeto $PBA2025201000088$ da Fundação Araucária, por bolsa produtividade ($304374/2024 - 5$) do CNPq e por bolsa de iniciação tecnológica financiada pelo CNPq. Agradecemos ao Grupo de Propriedades Eletrônicas e Vibracionais em Materiais (GPEViM) da UEPG pela estrutura.

Referências

MIRANDA, E. M. **Desenvolvimento de um sistema de geração de imagens fotoacústicas**. 80 p. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Física)) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

ROSENCWAIG, A.; GERSHO, A. Theory of the photoacoustic effect with solids. **Journal of Applied Physics**, v. 47, n. 1, p. 64–69, 1976.

SOMER, A. et al. The thermoelastic bending and thermal diffusion processes influence on photoacoustic signal generation using open photoacoustic cell technique. **Journal of Applied Physics**, v. 114, n. 6, p. 063503, 2013.

ZAFAR, M. et al. Development of low-cost fast photoacoustic computed tomography: System characterization and phantom study. **Applied Sciences**, v. 9, n. 3, p. 374, 2019.

ZHOU, Y.; YAO, J.; WANG, L. V. Tutorial on photoacoustic tomography. **Journal of Biomedical Optics**, v. 21, n. 6, p. 061007, 2016.