

MODELOS EXPERIMENTAIS PARA TERMODINÂMICA ESTOCÁSTICA: MÁQUINAS TÉRMICAS INFORMACIONAIS

Departamento de Física – Universidade Federal de Viçosa

Thales Henrique P. de Paula*, Erika Peixoto Pimenta, Eduardo Nery Duarte de Araújo, Luís Barbosa Pires; (*thales.prado@ufv.br)

ODS 9
Categoria: Pesquisa

Introdução

A termodinâmica de sistemas mesoscópicos [1] tem revelado novos mecanismos de conversão de energia em que a informação exerce um papel central [2]. O conhecimento do macroestado instantâneo de um sistema permite implementar estratégias de controle que extraem trabalho útil, estabelecendo uma conexão entre física estatística, teoria da informação e processos fora do equilíbrio. Neste trabalho, apresentamos uma proposta experimental para explorar esse conceito com uma partícula semicondutora aprisionada em uma pinça óptica. Estudos anteriores [3] mostram que tais partículas exibem respostas peculiares, como a dependência da amplitude de oscilação em relação à polarização do feixe. Nossa proposta é utilizar um esquema de feedback que maximize a amplitude dessas oscilações, possibilitando a conversão de informação em trabalho.

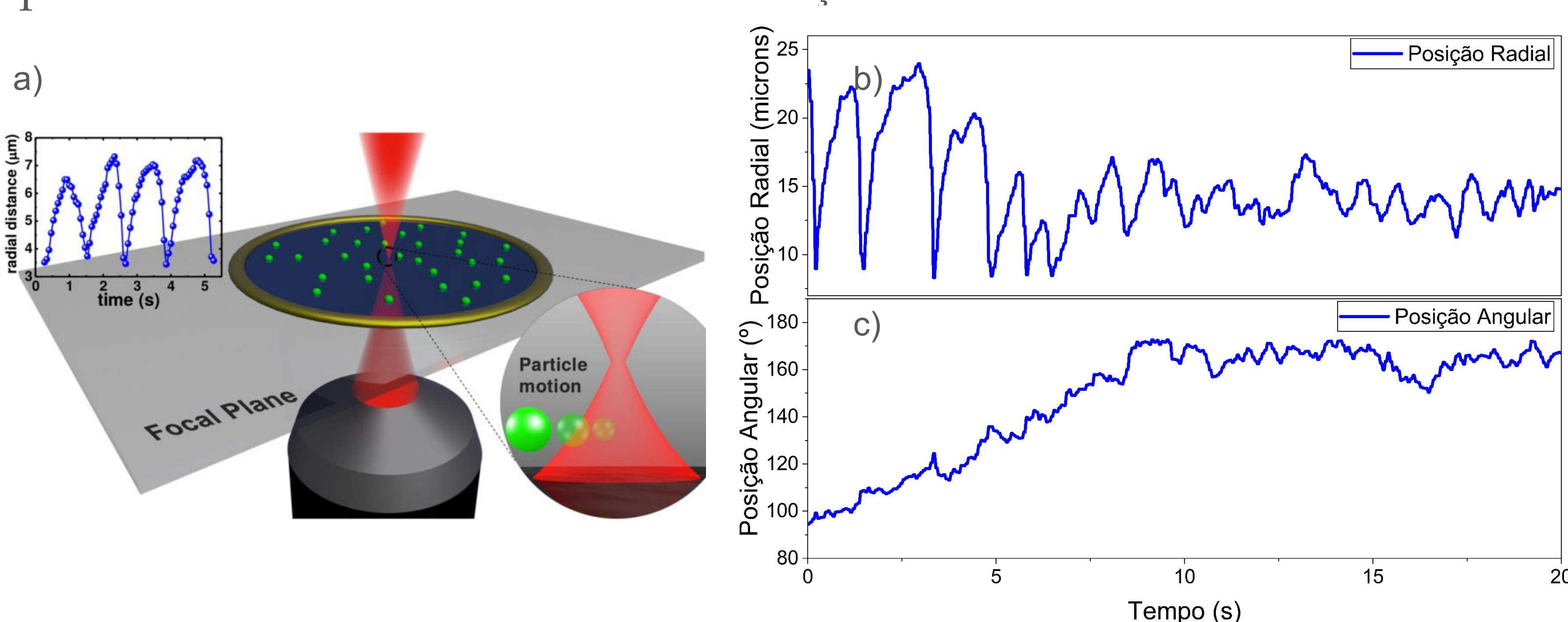


Figura 1: a) Esquema experimental para a oscilação de micro partículas semicondutoras em uma pinça óptica. Figura adaptada de [3]. b) Análise de Posição Radial vs Tempo. c) Análise do Ângulo de oscilação vs Tempo.

Objetivos

Produzir um modelo experimental de uma máquina térmica movida pela “informação” do seu estado.

- Implementar um loop de *feedback* que use medida de posição instantâneo para controlar um motor de passo.
- Determinar quais metodologias de *feedback* otimizam a extração de trabalho útil.

Metodologia

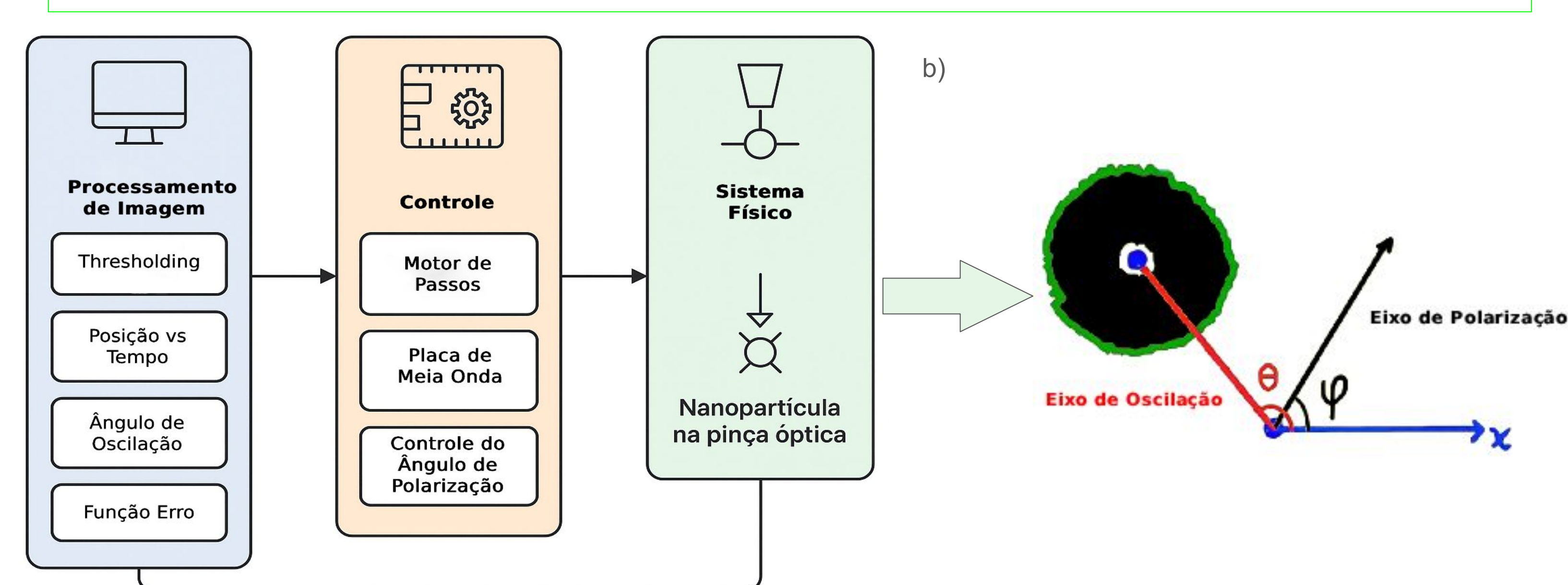


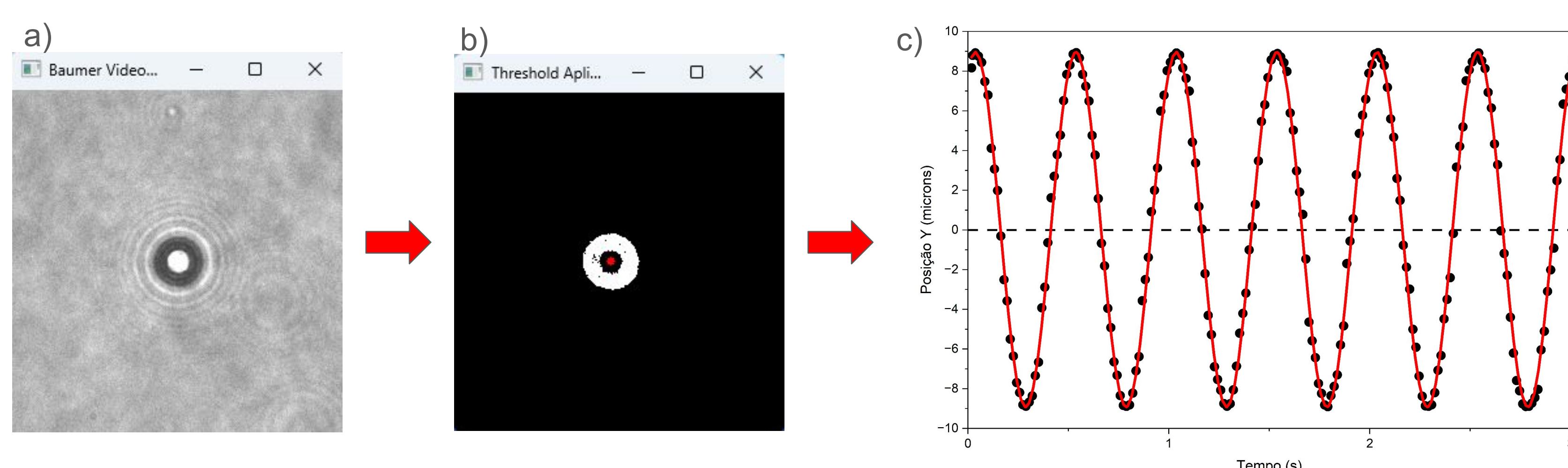
Figura 2: a) Esquema que ilustra o Loop de Feedback.. b) Ilustração que mostra o eixo de oscilação da partícula e Eixo de Polarização.

Apoio Financeiro

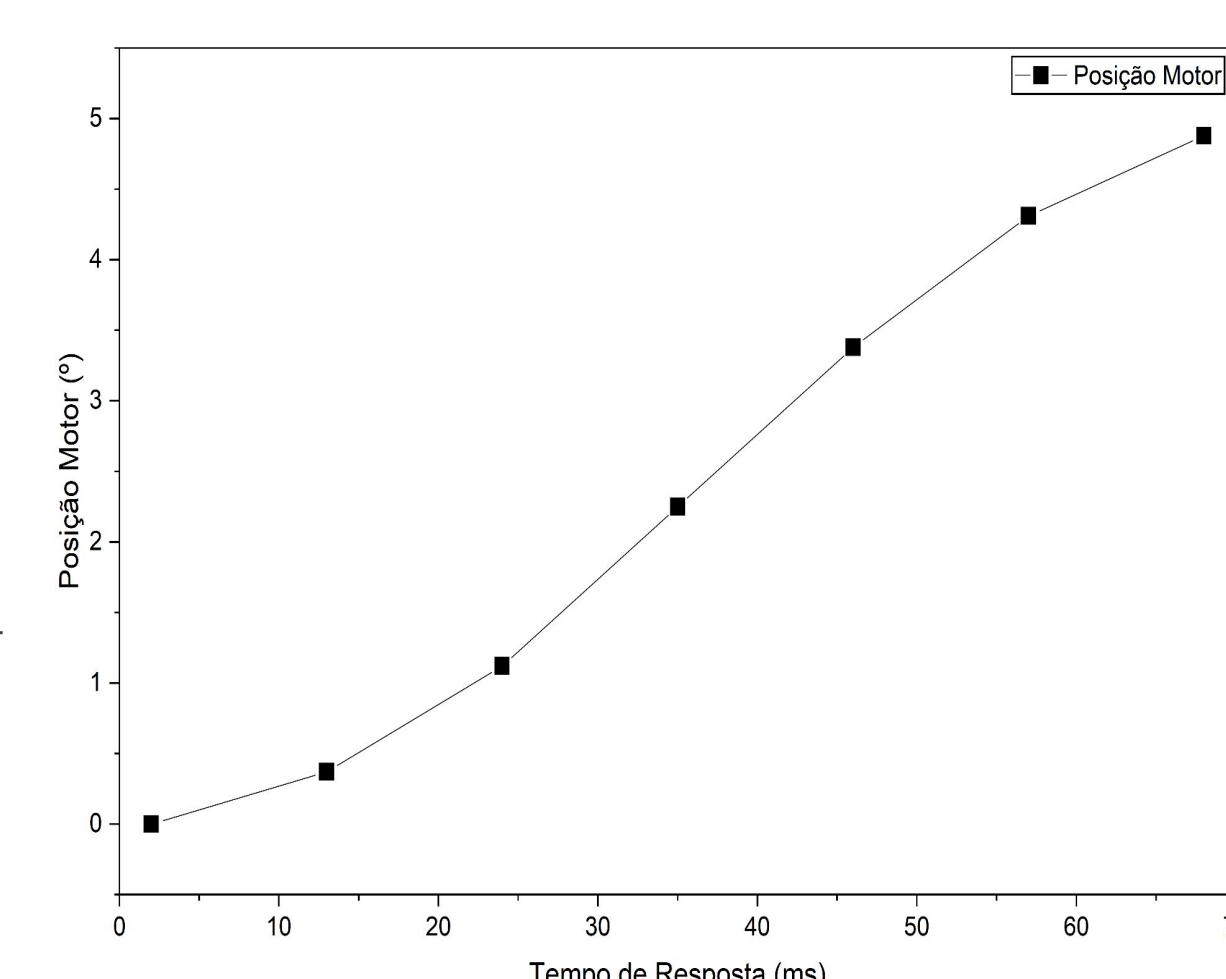


Resultados

Até o momento implementamos um sistema de tratamento de imagem em tempo real capaz de registrar a posição radial e angular de uma partícula em um microscópio óptico. Para os testes iniciais utilizamos uma partícula de poliestireno de 3 μm aprisionada em uma pinça óptica. A oscilação controlada foi induzida por um atuador piezoelétrico, permitindo avaliar de forma controlada a acurácia do algoritmo de detecção desenvolvido. A sequência de imagens abaixo ilustra esse processo: (a) quadro original obtido pela câmera, (b) imagem processada com threshold e cálculo do centro de massa e (c) série temporal da oscilação da partícula.



Atualmente, estamos na etapa de caracterização e otimização do tempo de resposta mecânica do motor de passo que irá rotacionar a placa de meia onda. Como exemplo, a figura ao lado apresenta a resposta temporal do motor para um deslocamento angular de 5°, obtendo-se um tempo de resposta de 68 ms.



Conclusões

Os resultados apresentados correspondem às etapas iniciais da implementação de um modelo experimental de máquina térmica informacional. Já estabelecemos o controle integrado de uma câmera para aquisição e processamento em tempo real das imagens, bem como o acionamento de um motor de passo por meio de um sistema baseado em *Arduino*, operado a partir de uma interface desenvolvida em *Python*. Como próximos passos, serão implementadas técnicas de *feedback* juntamente com o desenvolvimento de métricas que quantificam os custos associados à conversão de informação em trabalho útil. Com isso, pretendemos identificar e otimizar protocolos capazes de gerar e sustentar estados estacionários fora do equilíbrio que maximizem a amplitude de oscilação da micropartícula semicondutora.

Bibliografia

- [1] PELITI, L.; PIGOLOTTI, S. *Stochastic thermodynamics: an introduction*. Princeton: Princeton University Press, 2021.
- [2] PANERU, G.; LEE, D. Y.; TLUSTY, T.; PAK, H. K. Lossless Brownian information engine. *Physical Review Letters*, v. 120, n. 2, p. 020601, 2018.
- [3] CAMPOS, W. H.; MOURA, T. A.; MARQUES, O. J. B. J.; FONSECA, J. M.; MOURA-MELO, W. A.; ROCHA, M. S.; MENDES, J. B. S. Germanium microparticles as optically induced oscillators in optical tweezers. *Physical Review Research*, v. 1, n. 3, p. 033119, 2019.