



# PROJETO – DE – PESQUISA

## Programa de Iniciação científica e Tecnológica CBPF

Nome do pesquisador ou tecnologista (orientador interno):

**Elisa Maria Baggio Saitovitch**

Coordenação: **COMAN** - Coordenação de Matéria Condensada, Física Aplicada e Nanociência

Nome do pesquisador ou tecnologista (coorientador/colaborador externo, se houver):

**Carsten Enderlein**

Instituição de Pesquisa Externa: **Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ**

Título do projeto: Medida de impedância de nanoagulhas de telúrio

Palavra-chave: telúrio, eletromagnetismo emergente, transporte, indutância

Área de conhecimento: Física da matéria condensada, nanotecnologia

Pré-requisito desejado (se houver): O aluno deve estudar física, nanotecnologia, engenharia elétrica ou algo similar

Possibilidade de orientação remota:      ( ) Sim              ( x ) Não

Resultante principal do Projeto:

- ( x ) Publicação (horizonte de 4 anos).
- ( x ) Preparação do bolsista para área científica.
- ( x ) Produto tecnológico.
- ( ) Produto educacional ou didático.

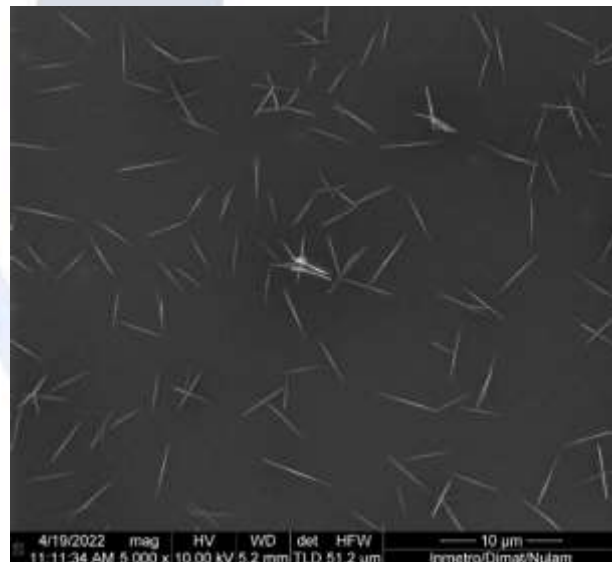
Rio de Janeiro, 31 de março de 2023

## Projeto

O indutor é um dos blocos fundamentais para a criação de circuitos elétricos. Ele é absolutamente necessário para a produção de transformadores, filtros e ressonadores. Esses blocos geralmente são fisicamente relativamente grandes e o transformador é a parte mais pesada em fontes de corrente, os carregadores de celulares e laptops têm um tamanho comparável com os dispositivos principais e bobinas são a razão porque motores elétricos são tão pesados.

Em 2020, um grupo de Japão mostrou, que sistemas magnéticos helicais apresentam uma autoindutância emergente [1]. Essa indutância escala inversamente com o tamanho do dispositivo, abrindo o caminho para a produção de indutores miniaturizadas. Recentemente, o efeito, que foi originalmente previsto por Nagoasa em 2019 [2], foi previsto em materiais magnéticas com acoplamento spin-órbita [3].

Um candidato bem específico para a ocorrência de indutância emergente é o telúrio (Te). Telúrio elementar em bulk é um semiconductor com um gap relativamente pequeno ( $\Delta \sim 350$  meV) e uma estrutura cristalina de 1+2 dimensões, composta por hélices atômicas quase numa rede ortorrômbica. Uma consequência disso é que uma corrente aplicada ao longo da direção das hélices deve gerar um campo magnético similar ao campo magnético



**Figura 1: Nanoagulhas de telúrio acima de SiO<sub>2</sub>.**

gerado por uma bobina macroscópica. Esse efeito é amplificado pela possível indutância emergente surgindo do acoplamento spin-órbita. Por causa disso é possível induzir um momento magnético paralelo ou antiparalelo (dependendo da quiralidade do cristal) a uma corrente induzida na direção das cadeias [4]. Dentro da nossa colaboração com Prof. Enderlein já conseguimos crescer nanoagulhas de telúrio (Fig. 1).

## Objetivos

Para esse projeto, o bolsista deve se familiarizar inicialmente com o processo de sintetização de nanoagulhas de telúrio. Subsequentemente, serão crescidos contatos elétricos de ouro em amostras escolhidas para permitir medidas de transporte com 4 pontos. O crescimento dos contatos de ouro ocorrerá por *nanolitografia*. Serão preparados seis nanoagulhas de espessuras diferentes para observar efeitos da secção de choque nas propriedades físicas.

A próxima etapa é a determinação de indutância sob medidas de impedância AC e sua dependência da frequência e da corrente em temperatura ambiente e temperaturas levemente mais altas e baixas. Nessas medidas os objetivos principais são:

1. Achar as frequências de ressonância.
2. Determinar a dependência da indutância da frequência aplicada,
3. Determinar a dependência da indutância da secção de choque das amostras,
4. Determinar a dependência da indutância da corrente aplicada.

## Metodologia

### Sintetização de amostras

Para a produção de nanoagulhas o aluno terá que tirar o óxido da matéria prima. Um pallet de telúrio é previamente reduzido numa solução aquosa de ácido ascórbico (mesma massa do telúrio) em temperatura de 70°C. O pallet é subsequentemente esmerilhado em almofariz com uma solução de álcool etílico com álcool benzílico. A solução é colocada numa contrífuga para tirar pedaços grandes de telúrio. Subsequentemente, uma gota da solução é colocada acima de um wafer de silício 111 e submetida em tratamento térmico de 215°C durante 90 minutos. Com este procedimento se formam nanoagulhas de telúrio na superfície do wafer.

### Preparação de dispositivos

Dependendo do tamanho de cada amostra de nano agulha, os dispositivos terão os contatos preparados por métodos diferentes. Amostras maiores poderão ser preparadas com a mão (usando tinta prata), enquanto amostras menores precisarão de métodos como *Direct LASER Writing* ou nanolitografia. Serão preparados dispositivos em configuração clássica de quatro pontas para medir resistência elétrica e em configuração Hall.

## Medidas

Para as medidas de voltagem, serão usadas uma fonte de corrente de ultra-alta precisão de Cambridge Cryogenics e um amplificador Lock-In. A frequência e a intensidade da corrente serão moduladas para criar um mapa de impedância em temperatura ambiente.

Para a realização deste projeto o aluno deverá se familiarizar com várias técnicas de procedimentos experimentais envolvendo o processo de sintetização, processos de crescimento de estruturas nanométricas, medidas de transporte e a análise de dados.

## Referências

- [1] T. Yokouchi, F. Kagawa, M. Hirschberger, Y. Otani, N. Nagaosa e Y. Tokura, “Emergent electromagnetic induction in a Helical spin magnet,” *Nature*, vol. 586, 2020.
- [2] N. Nagaosa, “Emergent inductor by spiral magnets,” *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 58, p. 120909, 2019.
- [3] Y. Yamane, S. Fukami e J. Iena, “Theory of Emergent Inductance with Spin-Orbit Coupling Effects,” *PRL*, vol. 128, p. 147201, 2022.
- [4] T. Furukawa, Y. Shimokawa, K. Kobayashi e T. Itou, “Observation of current-induced bulk magnetization in elemental tellurium,” *Nature Communications*, vol. 18, p. 945, 2017.