



# Simpósio de Integração Acadêmica

“Bicentenário da Independência: 200 anos de ciência, tecnologia e inovação no Brasil e 96 anos de contribuição da UFV”

SIA UFV 2022



## ESTUDOS TEÓRICOS EM ESTADOS TOPOLÓGICOS DA MATÉRIA

Lucas Vigiano dos Santos- [lucas.vigiano@ufv.br](mailto:lucas.vigiano@ufv.br) – Orientador: Jakson Miranda Fonseca- [jakson.Fonseca@ufv.br](mailto:jakson.Fonseca@ufv.br)

Departamento de Física- Centro de Ciências Exatas- UFV

Supercondutividade, Matéria condensada, Estados topológicos

Física- TQC aplicada em matéria condensada- Pesquisa

### Introdução

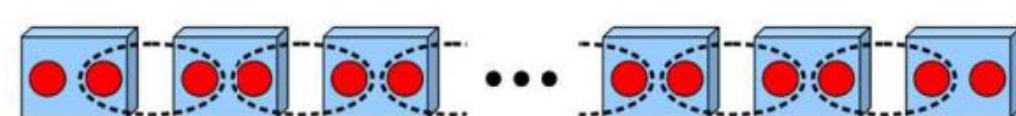
Quando resfriamos bastante um condutor, existe uma temperatura na qual o condutor passa a exibir características incríveis, como resistência elétrica nula, expulsão do campo magnético de seu interior, entre outros, fenômeno esse conhecido como Supercondutividade. Esse estado da matéria permite separar espacialmente dois férmions de Majorana que juntos formam um elétron, com transições conectadas a estados topológicos da matéria. Porém, as assinaturas experimentais propostas até então, também são geradas por outros estados emergentes nesses sistemas, como os Estados Ligados de Andreev.

### Objetivos

O estudo pretende principalmente entender os estados topológicos da matéria, como emergem os férmions de Majorana desses sistemas e discutir mecanismos ou quantidades mensuráveis que diferenciem férmions de Majorana e os Estados ligados de Andreev.

### Material e Métodos

Usa-se o modelo de Kitaev [1] para mostrar surgimento de Modos Zero de Majorana (MZM). Temos uma cadeia unidimensional de férmions sem spin supercondutores (SC), que cada férmion será representado por dois Majoranas [3], dados certos parâmetros teremos dois MZM sobrando nos contornos da cadeia:



Esses modos tem energia zero e exibem picos de condutividade na energia zero, além de sinais como Efeito Josephson  $4\pi$  periódico entre outros. Porém, estados ligados surgem de reflexões de Andreev em SC e simulam esses mesmos efeitos. Podemos montar as diferenças em uma tabela:

Tipo	Subtipo	Sobreposição espacial das componentes de Majorana	Extensão espacial das componentes de Majorana	Presos a energia zero	Estatística de troca Não-Abeliana	Topologia do interior do material
Andreev Bound States	$SO = 0, V_z = 0$	Completa	Espalhada através da junção/ região normal	Não	Não	Trivial
	$SO \neq 0, V_z < V_z^c$	Parcial	Espalhada através da junção/ região normal	Não	Não	Trivial
	Forte acoplamento $SO, V_z < V_z^c$	Parcial	Espalhada através da junção/ região normal	Somente Vs. $V_z$	Não	Trivial
	Multibandas acopladas + inhomogeneidade de curto alcance	Alta	Espalhada através da inhomogeneidade	Aproximadamente	Não	Trivial
Majorana Bound States	Cadeia longa ( $L \gg \xi_M, V_z > V_z^c$ )	Exponencialmente Suprimida	Localizada nas extremidades	Sim	Sim	Não Trivial
	Cadeia curta ( $L \lesssim \xi_M, V_z > V_z^c$ )	Parcial	Localizada nas extremidades, porém com sobreposição	Não (Oscilações em torno da energia zero)	Não	Não Trivial

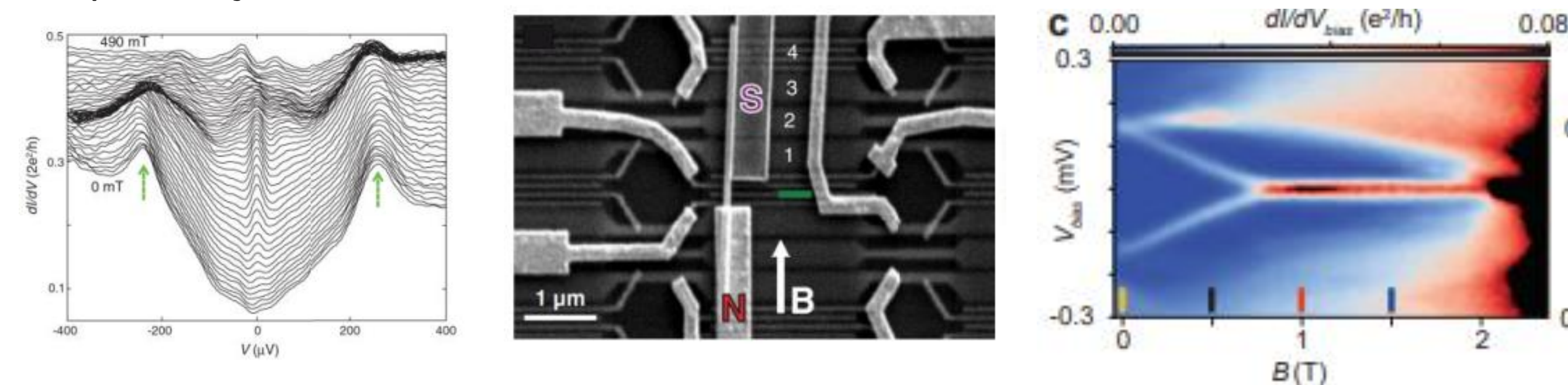
Tabela adaptada de [2].

### Apoio Financeiro

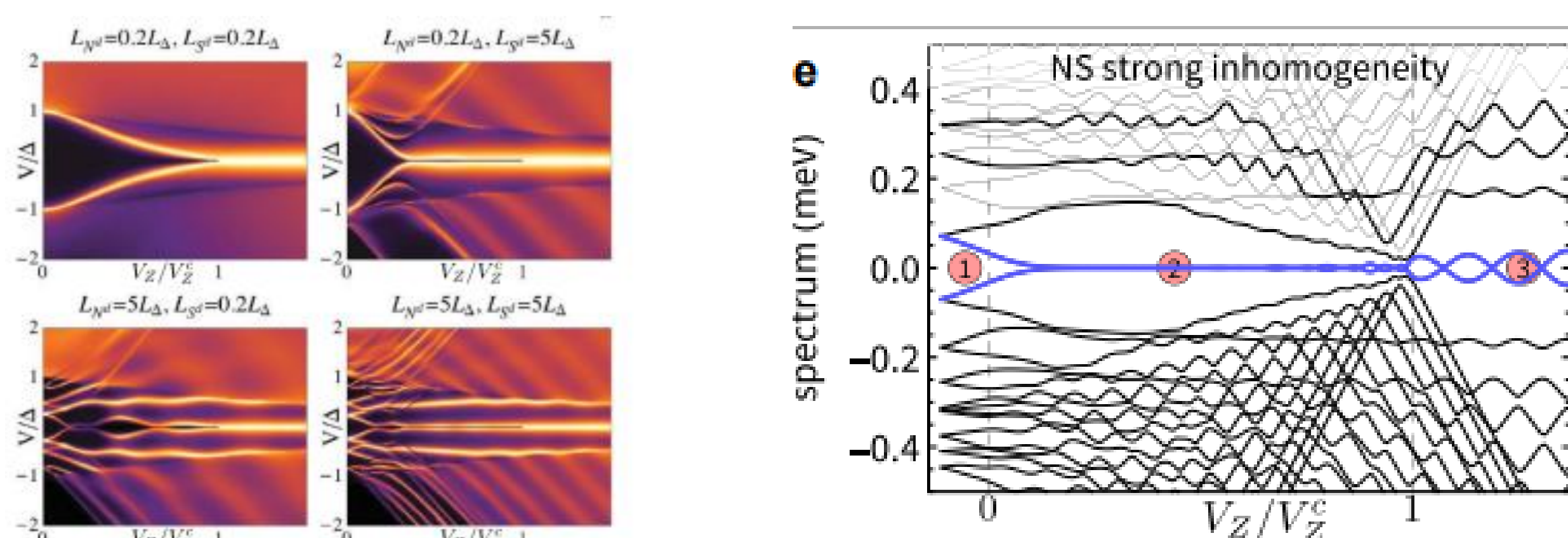


### Resultados e Discussão

Muitos modelos foram propostos para detecção dos Majoranas, alegando a presença de assinaturas de MZM[1]:



Porém em casos com grande inhomogeneidade estados não topológicos fixos em energia zero podem aparecer, simulando majoranas [2]:



### Conclusões

Existem algumas diferenças teóricas entre ABS's e MZM's, porém a maioria dos experimentos não medem essas características. Para muitos fins, como a fixação de energia zero, ambos MZM e ABS são úteis, assim como alguns quasi-Majorana exibem estatística de troca não abeliana. Porém para detecção de fases topológicas não triviais é necessário procurar experimentos que utilizem medições realmente não locais. Além disso ainda há bastante a se explorar no que diz sobre o comportamento termodinâmico desses sistemas em diferentes estados topológicos.

### Bibliografia

- [1] AGUADO, Ramon. Majorana quasiparticles in condensed matter. La Rivista del Nuovo Cimento, v. 40, n. 11, p. 523-593, 2017.
- [2] Prada, E. and 9 colleagues 2020. From Andreev to Majorana bound states in hybrid superconductor-semiconductor nanowires. Nature Reviews Physics 2, 575–594.
- [3] BEENAKKER, C.W.J.. Search for Majorana Fermions in Superconductors. Annual Review Of Condensed Matter Physics, v. 4, n. 1, p. 113-136, abr. 2013. Annual Reviews.

### Agradecimentos

Ao meu orientador Jakson M. Fonseca que promoveu essa oportunidade e a todos que apoiaram na trajetória. Às agências de fomento, CNPq, FAPEMIG e CAPES.