



## ESTUDO DAS PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DE UM SUPERCONDUTOR

GABRIEL MARTINS DOS SANTOS<sup>1</sup>; FÁBIO TEIXEIRA DIAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [gabrielmartinsantos1@gmail.com](mailto:gabrielmartinsantos1@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [diasft@gmail.com](mailto:diasft@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo apresentar o estudo feito sobre as propriedades magnéticas de um material supercondutor.

A supercondutividade é uma área de investigação cujo seu principal objetivo é a criação de novos materiais onde a resistência elétrica neles seja nula e o transporte de energia ocorra à temperatura ambiente. A pesquisa por esses materiais tem crescido cada vez mais, pois eles têm grande potencial de evitar o desperdício de energia elétrica, como por exemplo, o transporte de energia gerado por uma usina hidrelétrica até uma residência. Durante esse percurso, um fio condutor normal teria grandes perdas pois teria alguma resistividade elétrica a ser considerada, o que não aconteceria em um fio supercondutor.

Tendo em vista a importância do estudo dos materiais supercondutores e a grande aplicabilidade que ele pode vir a ter no futuro, este trabalho a nível de iniciação científica, visa fazer um compilado das propriedades magnéticas de um supercondutor. Em linhas gerais, esse trabalho visa diferenciar um condutor hipotético perfeito de um supercondutor, onde a principal diferença entre esses dois materiais está em suas propriedades magnéticas.

Para elaboração deste trabalho foi feito o estudo do livro *Supercondutividade* [1] e do curso online “*Superconductivity*” da *The Open University* [2].

Com a pandemia mundial do coronavírus esse trabalho não pode ser realizado em sua essência, um trabalho experimental, tornando-o um trabalho puramente teórico.

### 2. METODOLOGIA

Como dito anteriormente, devido a pandemia mundial do coronavírus não foi possível a realização do trabalho em laboratório. Com isso, foi feito um estudo teórico acerca da supercondutividade e suas propriedades.

Esses estudos teóricos foram feitos semanalmente, com um encontro semanal com o grupo de pesquisa. Para esse encontro estudávamos um tópico do curso e produzimos um seminário acerca do mesmo conteúdo, sendo feitas também discussões com o orientador e os integrantes do grupo sobre o tópico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

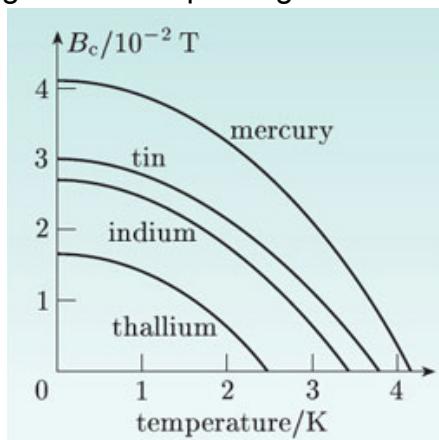
O fenômeno da supercondutividade foi descoberto por Heike Kamerlingh Onnes em 1911. Isso só foi possível graças à sua pesquisa com criogenia, em que três anos antes (1908) Onnes e sua equipe de trabalho conseguiram liquefazer o gás hélio. Essa descoberta se deu quando Onnes estudava a resistividade elétrica do mercúrio, estando este à aproximadamente a mesma temperatura do gás hélio liquefeito. Com isso, ele conseguiu constatar uma variação abrupta da resistência elétrica numa temperatura bem definida (4 Kelvin)



o que ele chamou de temperatura crítica ( $T_c$ ), que representa a temperatura de transição de fase de um material. Essa transição de fase ocorre do estado normal de um material (onde há resistência elétrica) para o então chamado estado supercondutor (onde não há resistência elétrica). Após essa descoberta, ao longo desses 110 anos de história da supercondutividade, foram descobertos muitos outros materiais supercondutores, foram descobertas suas propriedades e elaboradas teorias, as quais ainda se encontram incompletas. Neste trabalho iremos focar somente nas propriedades magnéticas dos materiais supercondutores.

Uma das primeiras propriedades mais conhecidas de um supercondutor é a *inexistência de resistência elétrica* em sua estrutura quando a temperatura do material está abaixo da sua temperatura crítica, sendo percorrido por esse material uma corrente contínua. Portanto, se aplicarmos um campo magnético externo ao supercondutor, haverá uma diminuição no valor da temperatura em que o material conseguirá manter seu estado supercondutor. E para esse valor limite de campo magnético que podemos aplicar em um supercondutor chamamos de *campo magnético crítico* ( $B_c$ ). Abaixo temos um gráfico de  $B_c$  pela sua temperatura suportada para alguns materiais:

Figura 1 : Campo magnético crítico.



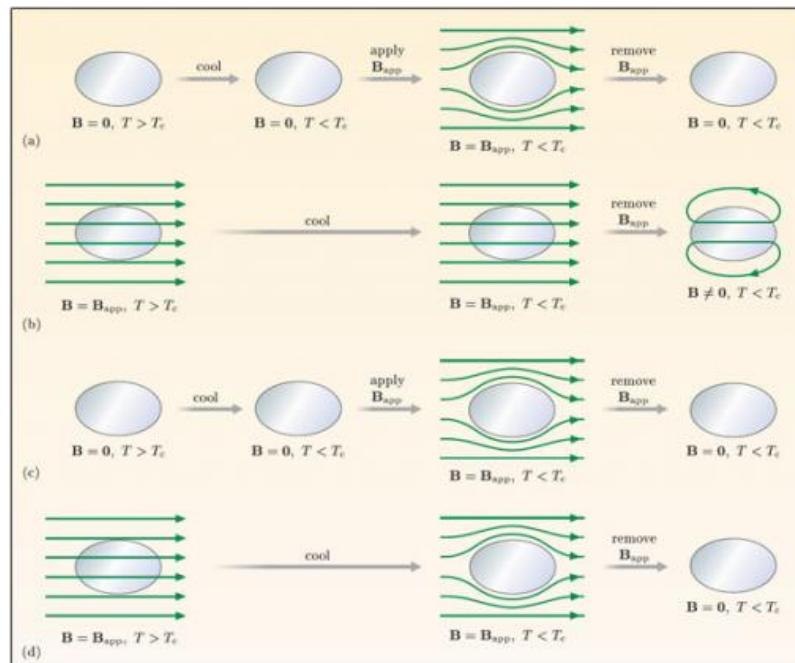
Fonte: [2]

Em linhas gerais, podemos dizer então que a supercondutividade pode ser destruída se aplicarmos um campo suficientemente forte, fazendo com que o metal retorne ao seu estado normal, com resistência diferente de zero.

Logo após essa descoberta do comportamento do supercondutor em função da sua temperatura e na presença do campo magnético, em aproximadamente 22 anos depois da descoberta da supercondutividade, os físicos Walter Meissner e Robert Ochsenfeld revelaram uma segunda propriedade para os materiais supercondutores. Durante seus experimentos, eles constataram que quando um campo magnético é aplicado no material supercondutor, estando esse material no estado supercondutor, o campo magnético é expelido automaticamente de dentro desse material. Essa característica, que é uma das principais da supercondutividade, ficou conhecida como *Efeito Meissner*.

Na imagem abaixo, temos o comportamento do campo magnético dentro de um material supercondutor e em um condutor perfeito, onde a diferença entre esses dois materiais fica mais evidente.

Figura 2 : Comparação entre um supercondutor e um condutor perfeito



Fonte : [2]

Em (a) e (b) temos a representação de um condutor perfeito. Em (a), observamos que o material é resfriado sem campo magnético aplicado. Após sua temperatura ficar abaixo de  $T_c$ , é aplicado um campo magnético e ele é expelido do material. Quando o campo magnético é removido, vemos que o campo magnético em seu interior também é removido. Já em (b), o material inicia com um campo magnético aplicado sobre ele. Então é resfriado até se encontrar abaixo de sua temperatura crítica. Com isso, se remove o campo magnético aplicado e percebemos que o campo permanece no interior do material.

Em (c) e (d) temos a representação de um supercondutor. Em (c) vemos que o material é resfriado sem um campo magnético aplicado. Quando a temperatura do material fica abaixo de  $T_c$  é aplicado um campo magnético e, então, observamos que o campo é expulso do interior do material. Quando o campo é removido, o material continua sem campo em seu interior. Já em (d), o material começa com campo magnético aplicado sobre ele, sendo resfriado até uma temperatura abaixo de  $T_c$ . Nesse caso também observamos que o campo é expelido de seu interior, e mesmo após sua remoção, o supercondutor continua sem campo magnético em seu interior.

De fato, independente da forma de magnetização inicial do material , o campo magnético sempre será expelido do supercondutor, ao contrário do condutor perfeito, em que o campo magnético só é expelido quando inicia sem campo magnético aplicado.

Com a descoberta de novos materiais supercondutores, e a resposta desses materiais à presença de um campo magnético, foi crucial a classificação dos materiais supercondutores em dois tipos, ficando conhecidos como supercondutores do tipo I e tipo II.

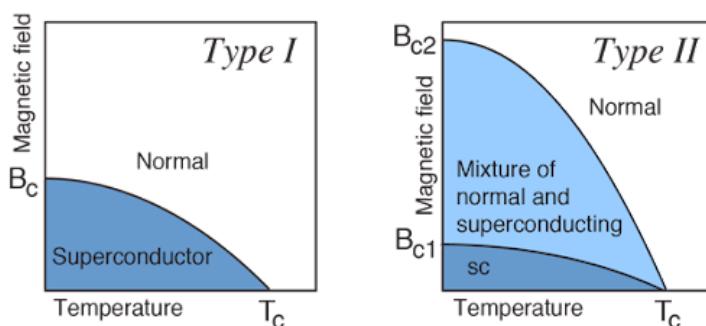
Os supercondutores do tipo I, são compostos basicamente por materiais metálicos, são os materiais que em temperatura ambiente são ótimos condutores de eletricidade. Eles também possuem um valor de  $T_c$  extremamente baixo, quando comparados com os do tipo II.



Como podemos ver na Figura 3, os supercondutores do tipo I, apresentam somente um valor de campo magnético crítico. E portanto, apresenta somente dois estados, o estado supercondutor e o estado normal.

Já os supercondutores do tipo II são representados pelas ligas metálicas e diversos outros compostos. Eles apresentam dois campos magnéticos críticos, apresentando três estados, o estado supercondutor, misto e o estado normal. O estado supercondutor se manifesta no material até o seu valor de campo magnético crítico 1. Entre os valores de campo magnético  $B_{c1}$  e  $B_{c2}$ , o material apresenta o estado misto, onde ocorre a coexistência de supercondutividade e magnetismo. E por fim, quando o campo aplicado ultrapassa  $B_{c2}$ , o material fica completamente no estado normal.

Figura 3 : Supercondutores do tipo I e II



Fonte: [3]

Os supercondutores de alta temperatura crítica são representados pelos supercondutores do tipo II, e são os mais pesquisados atualmente. Por apresentarem uma temperatura mais elevada para o estabelecimento da supercondutividade, têm mais chances de serem produzidos em larga escala, gerando com isso um grande impacto para a sociedade.

#### 4. CONCLUSÕES

Com esse trabalho foi possível diferenciar e caracterizar um material supercondutor de um condutor perfeito. Definindo suas principais características magnéticas.

Considerando que este é um trabalho de iniciação científica que está em seu estágio inicial pela impossibilidade de trabalho em laboratório, o estudo e conhecimento teórico adquirido foi de extrema importância para sua continuação.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OSTERMANN, F. & PUREUR, P. **Supercondutividade**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física, 2005. 78 p
- [2] The Open Learn University. **Superconductivity**. Acessado em 25 Jul. 2021. Online. Disponível em: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/superconductivity/content-section-0?intro=1>
- [3] HyperPhysics Concepts. **Superconductivity**. Acessado em 25 Jul. 2021. Online. Acesso em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/scbc.htm>