

**PRODUTO EDUCACIONAL - Material Didático-Pedagógico  
SUPERCONDUTIVIDADE: UM PROCESSO DE ENSINO APRENDIZAGEM EM  
FÍSICA**

Tereza Teixeira de Souza

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Celso Viscovini

Maringá - PR  
Julho, 2022

Este material estará disponível para *download* na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>) e pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada série pelo docente interessado.

Maringá, julho de 2022.

Nome do aluno: Tereza Teixeira de Souza

## Supercondutividade

O aquecimento indesejável de aparelhos eletroeletrônico, como celulares e computadores, está associado ao Efeito Joule, que tem sua origem na propriedade física chamada Resistência elétrica (dificuldade que o material apresenta para a passagem de corrente elétrica). O efeito Joule é sempre indesejável quando a função do dispositivo não é aquecer, uma vez que se fazem necessários sistemas de resfriamento para manter os aparelhos funcionando, fazendo com que os aparelhos se tornem maiores, sejam mais pesados, apresentem maior custo e consumam mais energia elétrica.

Assim o ideal para resolver este problema é que existissem materiais de resistência elétrica nula ( $R = 0 \Omega$ ). Nesse contexto, surge a supercondutividade, propriedade que o material condutor adquire ao ser submetido a temperaturas próximas ao zero absoluto, sendo uma delas a resistência nula. Essa propriedade foi observada primeiramente pelo físico Heike Kamerlingh Onnes (1911), quem comprovou a existência do estado de supercondutividade da matéria. Para isso ele realizou um experimento com o mercúrio, que apresentou resistência nula a 4,2 K (aproximadamente 269 °C). Assim materiais denominados supercondutores podem ser percorridos por corrente elétrica, sem apresentar aquecimento e perda de energia elétrica por Efeito Joule. No entanto, valores de corrente maiores do que determinado valor, chamado de corrente elétrica crítica, suprimem a supercondutividade desses materiais. Essa descoberta foi tão relevante para a ciência que levou a premiação do Onnes com o prêmio Nobel de Física em 1913.

Todo supercondutor poderia ser considerado um condutor elétrico perfeito, porém, no em 1933, os físicos Walther Meissner e Robert Ochsenfeld descobriram outra propriedade dos supercondutores, o chamado efeito Meissner. Esse efeito tem como característica a expulsão do fluxo magnético do interior de um material supercondutor, tornando-o nulo, independente do histórico de magnetização, isso o diferencia de um condutor perfeito, com fluxo magnético constantemente nulo em seu interior. No entanto, o efeito Meissner só ocorre quando o material está no estado de supercondutividade e é exposto a um campo magnético externo, o que apenas acontece quando se atinge um valor de temperatura crítica ( $T_C$ ).

No efeito Meissner, as linhas de indução são expulsas de forma espontânea do interior da amostra supercondutora, tais características são atribuídas a um diamagnetismo perfeito. De forma que, quando o sistema

está abaixo da temperatura crítica, ocorre a expulsão do campo magnético. Após o descobrimento do efeito Meissner, as propriedades magnéticas de um supercondutor não podiam ser interpretadas como a de um simples condutor que apresenta resistência zero. Então a supercondutividade passou a ser entendida como um novo estado da matéria, chamado de estado supercondutor, assim como o estado, sólido, líquido ou gasoso. Por esse motivo usa-se os termos 'estado

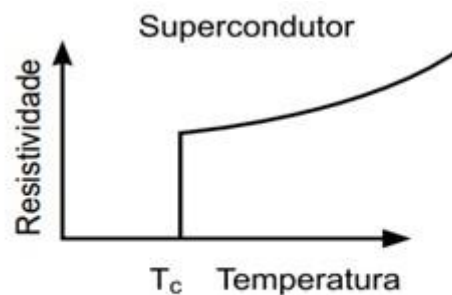


Figura 1 – Comportamento da resistividade nula (supercondutividade) na temperatura crítica ( $T_C$ )

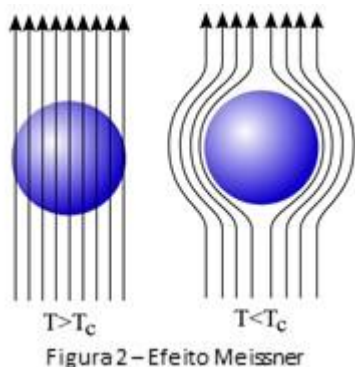


Figura 2 – Efeito Meissner

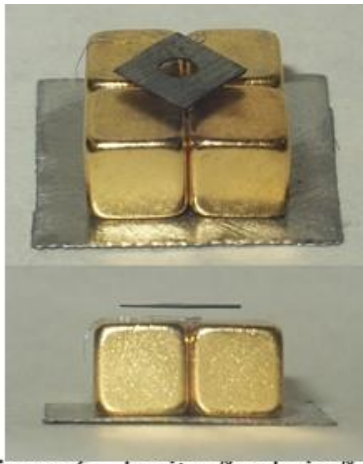


Figura 6 – Levitação de ímã sobre material supercondutor

normal’ e ‘estado supercondutor’.

### Aplicações dos Semicondutores

Apesar da temperatura crítica necessária para alcançar o estado de supercondutividade limitar sua aplicação, já existem aplicações industriais para os supercondutores. Uma das aplicações é no transporte alternativo, nos chamados trem bala, em que o campo magnético externo exerce uma força capaz de levantar o trem a uma altura em que o atrito seja



Figura 3 – Aplicações da supercondutividade- Trem bala

causado apenas pelo ar, reduzindo as perdas de energia e aumentando a velocidade. A supercondutividade pode também ser aplicada nos processos de produção de energia elétrica, pois geradores e motores elétricos podem ter sua eficiência aumentada com a troca dos fios de cobre convencionais por materiais supercondutores. Outra aplicação comercial da supercondutividade é a obtenção de ímãs ultra potentes para pesquisas científicas e diagnósticos médicos. Esses superímãs são fabricados com uma liga de germânio e nióbio ( $Nb_3Ge$ ) que é supercondutora a 23 K. Na medicina, a técnica que utiliza este superímã é chamada imagem de ressonância magnética (IRM).

Figura 4 – Aplicações da supercondutividade- Diagnóstico por imagem-Ressonância magnética



### Diamagnetismo

A propriedade de diamagnetismo mencionada acima se refere ao comportamento de materiais que sofrem repulsão na presença de campos magnéticos, ao contrário dos materiais chamados paramagnéticos e ferromagnéticos que são atraídos por campos magnéticos. Todas as substâncias são sensíveis à presença de um campo magnético, mas normalmente, seus efeitos são tão pequenos que são observados apenas com o ajuda de equipamentos muito sensíveis a esses sinais.

O magnetismo de forma geral é um efeito genuinamente quântico, uma vez que está associado à contribuição magnética referente ao movimento orbital dos elétrons em torno do seu núcleo e, por isso, está profundamente ligado à tendência natural de oposição à entrada de campo magnético em um circuito fechado. Essa resposta magnética é encontrada em alguns sólidos simples formados por íons que apresentam as camadas eletrônicas preenchidas, que é o caso dos halogenetos alcalinos e elementos pertencentes a família dos gases nobres, para os quais os momentos angulares orbital e de spin são iguais a zero no estado fundamental. Materiais como o cobre, a prata, o ouro e a alumina também são diamagnéticos a temperatura ambiente.

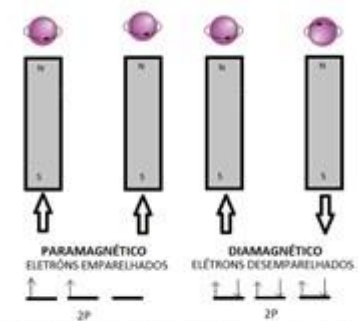


Figura 5 – Emparelhamento de elétrons em materiais paramagnéticos e diamagnéticos

No efeito diamagnético, quando um campo magnético atua sobre um átomo induz um dipolo magnético para todo o átomo, isso porque influencia o momento magnético gerados pelos elétrons orbitantes. Esses dipolos opõem-se ao campo magnético, levando a magnetização negativa. Se esse campo magnético externo aplicado é não uniforme, o material diamagnético sofre repulsão da região em que o campo magnético é mais intenso para a região em que o campo magnético é menos intenso. Supercondutores perdem sua propriedade quando outros efeitos magnéticos, tal como paramagnetismo e ferromagnetismo, tornam-se ativos e permitem que o campo adentre a matéria. Devido ao valor da susceptibilidade magnética ser menor que zero, o material é repelido, porém, o efeito é muito fraco e somente pode ser percebido em campos magnéticos intensos, maiores que o campo magnético da terra.

Assim, como mencionado os supercondutores são materiais diamagnéticos perfeitos e repelem todos os campos magnéticos devido ao Efeito Meissner. Esse efeito é a causa da levitação magnética de um ímã quando o mesmo é colocado sobre um material supercondutor. A explicação para o fenômeno está na repulsão total dos campos magnéticos externos pelos supercondutores, sendo que isso ocorre apenas quando o campo magnético aplicado não é tão intenso.

Apesar de todos os materiais apresentarem algum diamagnetismo, geralmente este é muito fraco para fazer com que levitem magneticamente. A levitação magnética só é possível se as propriedades diamagnéticas de um material são mais fortes do que as propriedades ferromagnéticas e paramagnéticas. Para levantar-se magneticamente, a força magnética total de um objeto além de ser repulsiva, deve ser mais forte que a força da gravidade. Em relação à altura que um material diamagnético levita, essa pode ser determinada pelo campo magnético externo e pelas próprias propriedades diamagnéticas contidas no material. O grafite é dos materiais que tem propriedades diamagnéticas mais intensas (para saber mais leia o texto complementar).

## **Paramagnetismo**

O paramagnetismo é a tendência que os dipolos magnéticos atômicos têm de se alinharem paralelamente a um campo magnético externo. Esse comportamento ocorre em substâncias que tem átomos com momento de dipolo magnético permanente. Esses átomos apresentam camadas eletrônicas incompletas, o que gera momentos magnéticos atômicos não-nulos, resultado do spin e do movimento orbital de seus elétrons. Alguns átomos, moléculas ou defeitos na rede cristalina que apresentam número ímpar de elétrons e, portanto, são paramagnéticas, são o, sódio, o óxido nítrico gasoso (NO) e radicais orgânicos livres. As propriedades paramagnéticas também podem ser encontradas em elementos de transição, terras raras e actínídeos, além de alguns metais.

O momento de dipolo magnético total que é gerado no paramagnetismo, na maioria das vezes, é significativamente maior que o momento diamagnético. Portanto, embora fraca, a resposta paramagnética é dominante em relação a resposta diamagnética, quando ambas ocorrem na mesma substância. Diferentes dos materiais diamagnéticos que são repelidos por ímãs, os materiais paramagnéticos



Figura 9 – Limalha de ferro sendo atraída pelos diferentes pólos magnéticos de um ímã

tendem a ser atraídos pelo sistema que produz o campo magnético externo (ímã ou bobina com corrente), como se fossem ímãs muito fracos. No entanto quando o campo aplicado é removido, os momentos magnéticos atômicos se desalinham pela agitação térmica e nenhum efeito do campo magnético é retido.

Dois mecanismos são possíveis para a contribuição paramagnética de uma substância, um por causa dos elétrons desemparelhados e localizados em sítios de uma rede cristalina, que podem passar de diamagnéticos para paramagnéticos em baixas temperaturas e é conhecido como paramagnetismo de Curie, e o outro conhecido como paramagnetismo de Pauli, que ocorre devido ao momento magnético relacionado ao momento angular de spin dos elétrons deslocalizados de um metal.

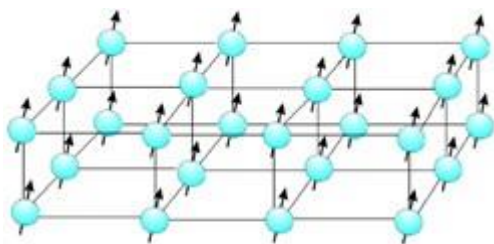


Figura 10 – Alinhamento dos momentos magnéticos em material ferromagnético

Se a concentração de átomos magnéticos em um determinado material é alta, seus momentos magnéticos atômicos podem interagir entre si. Isso poderá gerar um alinhamento ou anti-alinhamento

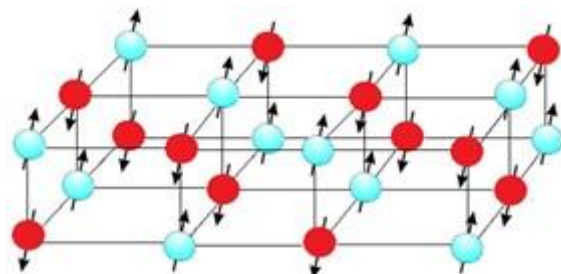


Figura 7 – Anti-alinhamento dos dipolos magnéticos Antiferromagnetismo

espontâneo entre estes momentos e a substância começará a ter uma resposta magnética forte. Este alinhamento/anti-alinhamento dos dipolos magnéticos atômicos forte pode ser descrito por uma permeabilidade magnética ( $\mu$ ) relativa maior do que uma unidade ( $\mu \gg \mu_0$ ). O fenômeno de alinhar ou anti-alinhar-se é chamado ferromagnetismo e antiferromagnetismo,

respectivamente.

### Ferromagnetismo

As substâncias ferromagnéticas possuem um momento magnético espontâneo, ou seja, existe mesmo que nenhum campo magnético seja aplicado. Nessas substâncias, os momentos magnéticos atômicos alinham-se paralelamente entre si, gerando um forte momento de dipolo em escala macroscópica. Ou seja, há uma interação entre os spins cuja tendência natural faz com que eles se alinhem em uma direção específica. Essa magnetização é muito mais forte que as encontradas em substâncias diamagnéticas e paramagnéticas e sob

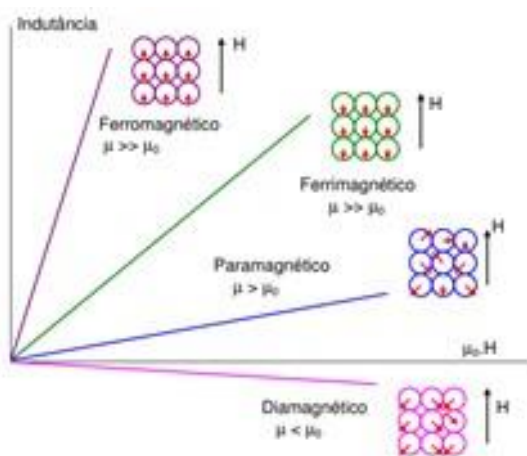


Figura 8 – Comportamento dos momentos magnéticos dos diferentes materiais

certas condições, tais substâncias comportam-se como ímãs permanentes, de forma que mesmo removendo o campo magnético externo a magnetização permanece. O ferromagnetismo é o mecanismo pelo qual materiais como o ferro formam ímãs. O ferromagnetismo também é encontrado em ligas de ferro, níquel e cobalto com outros elementos, além de alguns compostos de metais de terras raras e minerais como a magnetita. À medida que temperatura aumenta, torna-se cada vez mais difícil magnetizar uma substância ferromagnética. Para cada substância ferromagnética há uma temperatura específica em que acima desta a substância perde sua propriedade ferromagnética. Essa temperatura é

chamada ponto Curie, em homenagem a Pierre Curie. Para o ferro puro, por exemplo, o ponto Curie é  $770\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A propriedade ferromagnética faz com que os materiais tenham os seus momentos magnéticos atômicos alinhados em uma direção preferencial na presença de um campo magnético externo. Quando esses momentos magnéticos estão alinhados na mesma direção, mas em sentidos contrários e aos pares, o momento magnético resultante total será nulo e a essa propriedade dá-se o nome de antiferromagnetismo. Dessa forma, materiais antiferromagnéticos são compostos por átomos que possuem momentos de spins permanentes e esses momentos são caracterizados por interagirem negativamente e fortemente entre si. Há uma distribuição igual de spins “up” e “down” ao longo de todo do material e conseqüentemente não há momento efetivo ou magnetização espontânea no sistema. Quando submetidos à temperatura acima de sua temperatura crítica  $T_N$  (Temperatura de Néel) esses materiais apresentam comportamento paramagnético. Assim, sua susceptibilidade (que é pequena e positiva) também se comporta como de um sistema paramagnético. Os materiais antiferromagnéticos são geralmente cerâmicas produzidas por meio dos metais de transição. Alguns exemplos são:  $\text{MnO}$  (Óxido de Manganês),  $\text{MnF}_2$  (Fluoreto de Manganês),  $\text{FeO}$  (Óxido de Ferro),  $\text{NiO}$  (Óxido de Níquel) e  $\text{CoO}$  (Óxido de Cobalto).

Outra propriedade semelhante ao ferromagnetismo, é o ferrimagnetismo, em que também ocorre um acoplamento entre momentos de dipolos magnéticos atômicos de direções opostas, mas que levam a um cancelamento incompleto da magnetização do material. Isso ocorre porque diferentes íons têm diferentes momentos magnéticos. Ao aplicar-se um campo magnético, por exemplo, os dipolos de ferro A podem alinhar-se ao campo, enquanto os dipolos de ferro B opõem-se ao campo e como às resistências dos dipolos não são iguais, o resultado é uma magnetização diferente de zero. Portanto, os materiais ferrimagnéticos, também chamados de ferrites, exibem comportamento magnético intermediário entre o observado para materiais ferromagnéticos e o observado para materiais antiferromagnéticos. As ferrites são parecidas com os materiais ferromagnéticos no que se refere a elevada permeabilidade magnética. No entanto, diferente do que é observado em materiais ferromagnéticos, as ferrites não retêm a magnetização após o campo magnético ser eliminado.

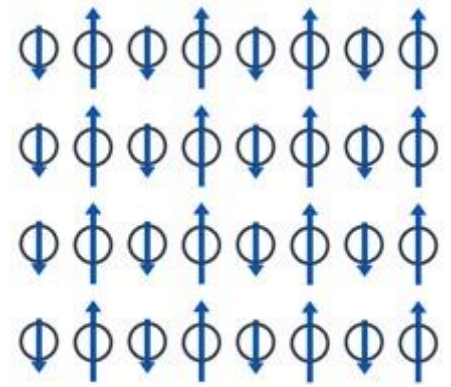


Figura 12 – Acoplamento entre momentos de dipolos magnéticos atômicos de direções opostas no ferrimagnetismo

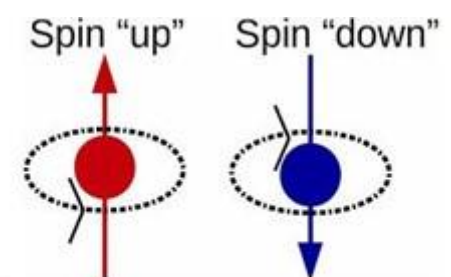


Figura 11 – Comportamento dos momentos de spin em materiais antiferromagnéticos

## Eletrromagnetismo

O eletromagnetismo é a área da física que tem como foco a relação entre a eletricidade e o magnetismo. Até o início do século XIX acreditava-se que não havia relação entre fenômenos elétricos e magnéticos. Porém, em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted observou que uma corrente elétrica é capaz de alterar a direção de uma agulha magnética de uma bússola. Se havia corrente elétrica no fio, Oersted verificou que a agulha magnética se movia, orientando-se perpendicularmente ao fio, o que indica a geração de um campo magnético gerado pela corrente. Quando a corrente elétrica era interrompida, a agulha retornava a sua posição inicial, ao longo da direção norte-sul. A este campo magnético de origem elétrica deu-se o nome de Campo Eletromagnético. Essa foi a primeira vez que o aparecimento de um campo magnético juntamente com uma corrente elétrica foi observado.

Os três principais fenômenos eletromagnéticos que regem todas as aplicações tecnológicas do eletromagnetismo são: (I) Quando uma corrente elétrica passa por um condutor produz um campo magnético ao redor do condutor; (II) Um campo magnético induz ação de uma força magnética sobre um condutor, quando este é percorrido por corrente elétrica; (III) Se um condutor fechado é colocado em um campo magnético, e sua superfície é atravessada por um fluxo magnético, aparecerá no condutor uma corrente elétrica, caso o fluxo magnético varie, a esse fenômeno dá-se o nome de indução eletromagnética.

Uma experiência simples que pode ser feita para observar um fenômeno eletromagnético é verificar que quando um bonde passa, mesmo distante de uma agulha imantada, isso faz a agulha oscilar. Esse fenômeno ocorre porque a corrente que passa através fio “trolley”, produz um campo magnético que atinge a agulha (“trolley” é o fio no qual desliza a “alavanca” do bonde).

### Lei de Faraday – Indução eletromagnética

Após a descoberta feita por Oersted que mostrou que a corrente elétrica produz campo magnético, os físicos começaram a se questionar se seria possível ocorrer o fenômeno inverso, ou seja, que o campo magnético criasse corrente elétrica. Foi então que em 1831 o inglês Michael Faraday realizou uma experiência que mostrou isso era possível. Faraday colocou uma espira conectada a um galvanômetro (equipamento que faz a medição de corrente elétrica de baixas intensidades), e como não havia nenhuma fonte para criar força eletromotriz esperava-se que o galvanômetro não detectasse nenhuma corrente elétrica no condutor. No entanto, ao movimentar um dos polos do ímã, aproximando ou afastando-o da espira, verificou-se que o surgimento de corrente elétrica no condutor, identificada pelo galvanômetro. Quando o ímã é colocado em repouso em relação à espira, o galvanômetro mostra a inexistência de corrente elétrica.

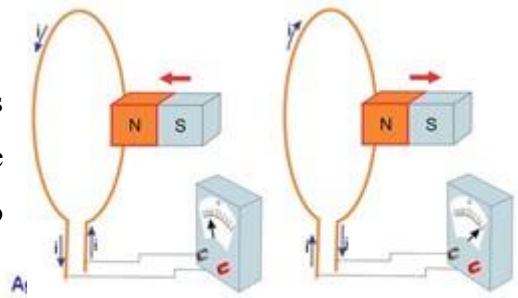


Figura 14 – Experimento de Faraday

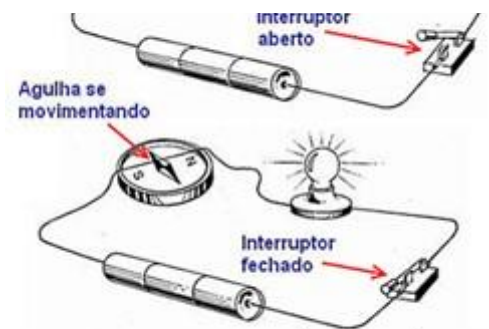


Figura 13 – Experimento de Oersted



Faraday percebeu ainda que quando se aproxima o polo norte do ímã da espira, o ponteiro do galvanômetro move-se em um sentido, e quando o polo norte se afasta da espira, o ponteiro move-se no sentido contrário. Quanto maior a velocidade dessa aproximação/afastamento entre ímã e espira, maior corrente elétrica é produzida. Esse fenômeno recebeu o nome de indução eletromagnética, e a força eletromotriz e a corrente gerada são chamadas de força eletromotriz induzida (fem) e corrente elétrica induzida.

A partir disso, surgiu também a ideia de Fluxo Magnético, que está relacionado com a quantidade as linhas de campo magnético atravessam a área de uma superfície. Quando se aumenta o número de linhas que atravessam essa superfície, por exemplo pela aproximação de uma espira ao polo norte de um ímã, há o aumento do fluxo de magnético. Da mesma forma, quando se afasta a espira do polo norte do ímã, há a diminuição do número de linhas do campo magnético e, portanto, a diminuição do fluxo magnético.

Dessa forma, a lei de Faraday pode ser resumida em: (I) Quanto maior a variação do fluxo magnético, mais intensa é a força eletromotriz induzida e (II) Quanto mais rápida é a variação do fluxo magnético, maior é a intensidade da fem induzida e maior a intensidade da corrente elétrica induzida. Assim a força eletromotriz gerada pelo campo magnético, é dependente do fluxo magnético e do tempo, o que matematicamente pode ser representado por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta T}$$

Em que  $\varepsilon$  simboliza a força eletromotriz induzida,  $\Delta\phi$  a variação do fluxo magnético e  $\Delta t$  o intervalo de tempo. No Sistema Internacional, a unidade de fem é o volt (V).

### Lei de Faraday-Lenz

Após explicado o surgimento da corrente induzida faltava explicar como se obtém o sentido dessa corrente. Quem elaborou a explicação mais simples para isso foi o físico russo Heinrich Friedrich Lenz que afirmou que “A força eletromotriz induzida num condutor é num sentido tal que se opõe à variação que a induziu”.

Quando se aproxima um ímã na forma de barra de uma espira circular fixa, de modo que o eixo do ímã se mantenha perpendicular ao plano da espira. À medida que o ímã se aproxima uma corrente induzida é gerada. De acordo com a lei de Lenz, a corrente induzida na espira deve contrariar essa aproximação. Portanto, a espira exerce sobre o ímã uma força que se opõe ao movimento do ímã. Mas se a espira repele o ímã, isso significa que a face que está voltada para o ímã deve ter a mesma polaridade da extremidade do ímã que se aproxima: nesse caso, é um polo norte. Mas para que essa face seja um polo norte, a corrente deve ter sentido indicado na figura (anti-horário para o observador).

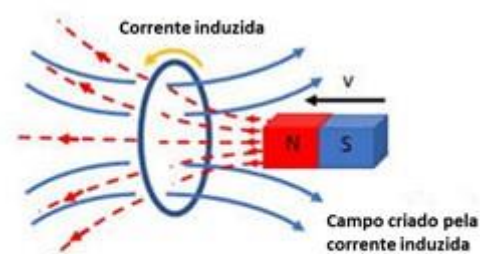


Figura 15 – Aumento do fluxo magnético cria no condutor uma corrente induzida

Agora se o polo norte do ímã se afasta da espira circular. O número de linhas do campo magnético que atravessa a área da espira é reduzido, levando a diminuição do fluxo magnético. A corrente elétrica induzida sempre é gerada em um sentido que se opõe a essa variação. Nesse caso, aparece entre a espira e o ímã uma força de atração com a face da espira voltada para o ímã agindo como polo magnético sul. Desse modo, a corrente elétrica induzida apresenta sentido horário. Na imagem ao lado o campo magnético do ímã está escrito em azul (B) e o campo magnético induzido nas bobinas (conjunto de espiras) está escrito em vermelho.  $\Delta B$ , indica o sentido da variação do campo magnético dependente de cada situação. Assim, quando o polo norte do ímã se aproxima da espira, a corrente induzida apresenta sentido anti-horário. Enquanto isso, ao aproximar da espira o polo sul do ímã, o sentido da corrente é horário. Da mesma forma, ao afastar o polo norte do ímã da espira, o sentido da corrente induzida é horário e afastando da espira o polo sul do ímã, a corrente apresenta sentido anti-horário.

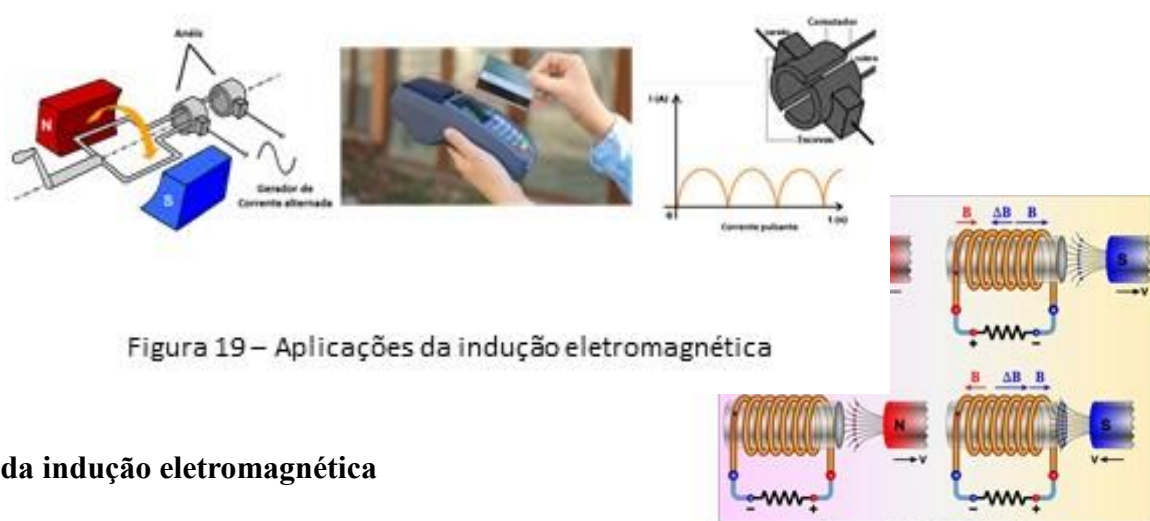


Figura 19 – Aplicações da indução eletromagnética

### Algumas aplicações da indução eletromagnética

Após a consolidação da teoria do eletromagnetismo, vários inventos usando essa teoria foram criados. Alguns desses inventos são o gerador de corrente alternada, criado por Nikola Tesla, e a lâmpada elétrica, inventada por Thomas Alva Edison. Outras teorias também foram elaboradas a partir da teoria do eletromagnetismo. Por exemplo, o cientista Albert Einstein, buscando interpretar as relações entre o magnetismo e a eletricidade, formulou a teoria da relatividade.

A partir do século XX, as explicações da teoria do eletromagnetismo se tornaram ainda mais elaboradas, o que deu origem a teoria quântica eletromagnética, também conhecida como eletrodinâmica quântica.

O eletromagnetismo foi de extrema importância para o avanço tecnológico e da sociedade tal qual a conhecemos atualmente. O eletromagnetismo permitiu a criação de equipamentos hoje indispensáveis para nós. Entre esses equipamentos estão os motores elétricos, transformadores de tensão, antenas de transmissão de dados, forno micro-ondas e os cartões magnéticos.

Os celulares, funcionam através das ondas eletromagnéticas, que são fundamentais para as comunicações sem fio. Dessa forma, a importância desta teoria está presente em todos os equipamentos elétricos e eletrônicos os quais



Figura 18 – Antena de transmissão de dados, uma das aplicações da indução eletromagnética

Figura 16 – Lei de Lenz

usamos diariamente e que não existiriam sem o estudo do eletromagnetismo.

Entre uma das mais importantes aplicações envolvendo o eletromagnetismo estão os geradores eletromagnéticos. O princípio de um gerador eletromagnético está no movimento giratório que a espira realiza ao ser submetida a um campo magnético. Devido a esse movimento o fluxo através da espira varia, ocasionando uma corrente induzida que neste caso é uma corrente alternada, tendo seu valor variável e seu sentido invertido periodicamente (desde que a velocidade da espira seja constante).

Para que a corrente tenha o mesmo sentido pode-se substituir os dois anéis por um anel dividido em duas partes, chamado comutador, o qual pode ser constituído de materiais como o cobre e o carvão. Dessa forma obtém-se uma corrente pulsante, sempre no mesmo sentido.

Já um gerador de corrente contínua é formado por muitas espiras, as quais giram na mesma velocidade angular, porém cada uma orientada em ângulo diferente.

O comutador é dividido em um número maior de partes, o que faz as correntes geradas pelas várias espiras variarem de tal forma que a corrente resultante é praticamente constante.

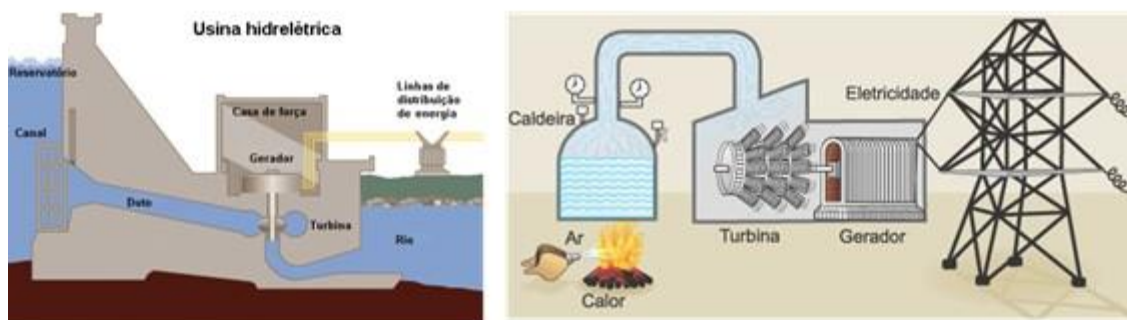


Figura 21 – Aplicações da indução eletromagnética- usinas hidrelétrica e termelétrica

Esses geradores são aplicados na geração de energia, por isso são tão importantes. Para movimentar os geradores há vários processos. As grandes usinas hidrelétricas usam as quedas de água para movimentar turbinas (pás semelhantes à de ventilador), que vão movimentar os geradores e produzir energia elétrica, enquanto as usinas termoelétricas utilizam o vapor de água para movimentar as turbinas e conseqüentemente os geradores. As usinas eólicas usam os ventos para a mesma finalidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANICIO, P. S. Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a mini-revolução provocada pela redescoberta do MGB2: uma abordagem didática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 4, p. 381-390, 2001.

FERREIRA, G. A. L.; MÓL, G. S.; SILVA, R. R. Criogenia e Supercondutividade. **Química Nova Na Escola**, n. 3, 1996.

COSTA, M. B.S.; PAVAO, A. C. Superconductivity: a century of challenges and overcoming. **Revista Brasileira**

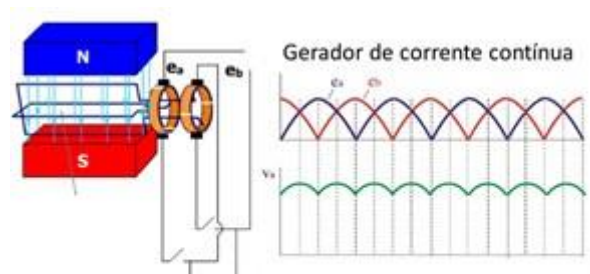


Figura 20 – Aplicações da indução eletromagnética- gerador de corrente contínua

**de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2602-2615, 2012.

DE MORAIS, C. F.; MOREIRA, Antônio P. A. Supercondutividade: aplicação em veículos de levitação magnética. **Revista Tecnologia**, v. 40, n. 2, 2019.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista brasileira de ensino de física**. v. 20, n. 3, p. 270-2884, 1998.

JACKSON, R. John Tyndall and the Early History of Diamagnetism. **Annals of Science**. v.72, n. 4, p. 435-489, 2015.

HOLANDA, L. M. *et al.* Comportamento magnético de materiais por meio da mecânica estatística. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20190196, 2020.

RODRÍGUEZ, G. J. B. O Porquê de Estudarmos os Materiais Magnéticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 4, p. 315-320, 1998

FIGUEIREDO, W. Magnetização nos materiais ferromagnéticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 4, n. 2, p. 91-97, 1987.

GONCALVES, S. A. R.; ZUCOLOTO, B. Uma ferramenta para simulação de sistemas superparamagnéticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200313, 2020.

NUSSENZVEIG, H. M.. **Curso de física básica: Eletromagnetismo**. v. 3, Editora Blucher, 2015.

DIAS, P. M. C.; MORAIS, R. F. Os fundamentos mecânicos do eletromagnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 1-14, 2014.

SAMPAIO, J.L; Calçada, C.S. **Física**. SP: Atual Editora, 2005.

PIVETTA, M. S. Supercondutor a Temperatura Ambiente. **Revista FAPESP**, 2001. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/supercondutor-a-temperatura-ambiente/>. Acesso: 31 de janeiro de 2021.

## Supercondutividade

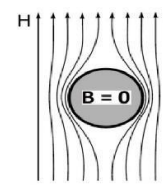
### Propriedades

Nota-se no cotidiano que os aparelhos eletroeletrônicos em geral aquecem ao funcionarem, muitos deles transformam parte da energia elétrica em energia térmica. Este fenômeno é chamado de Efeito Joule, tendo sua origem numa propriedade física chamada de Resistência Elétrica, que é a capacidade do condutor em dificultar a passagem da corrente elétrica. O Efeito Joule é sempre indesejável quando a função do aparelho não é aquecer.

Por exemplo, quando um computador é ligado, percebe-se após alguns minutos que ele está quente, sendo necessário sistemas de resfriamento para mantê-lo funcionando, como ventoinhas e dissipadores de calor, fazendo-o gastar mais energia elétrica, ficar maior, mais pesado e mais caro. Fios de transmissão de energia também sofrem esse efeito indesejado, perdendo parte da energia elétrica produzida pelas usinas nas linhas de transmissão. Portanto, o aquecimento nos condutores é algo muito ruim, produzindo perdas de energia. O efeito Joule e a Resistência Elétrica são conhecidas a mais de 200 anos, mas será que a ciência descobriu algum material sem resistência elétrica?

Surge então a supercondutividade, um novo estado da matéria, que apresenta propriedades muito particulares. Uma delas é resistência elétrica nula ( $R = 0 \Omega$ ) no material supercondutor, observação feita pela primeira vez pelo físico Heike Kamerlingh Onnes, em 1911, numa peça de mercúrio à 4,2 K ( $\approx -269^\circ\text{C}$ ). Assim, todo supercondutor pode ser percorrido por corrente elétrica, sem apresentar nenhum aquecimento e perda de energia elétrica por Efeito Joule. Mas valores de corrente elétrica acima de certo limite suprimem a supercondutividade, este valor é chamado de corrente elétrica crítica. Graças a sua descoberta, em 1913, Onnes é agraciado com o prêmio Nobel de Física.

Outra propriedade marcante da supercondutividade, descoberto pelos físicos Walther Meissner e Robert Ochsenfel, em 1933 é o Efeito Meissner: ocorrência em que o supercondutor sempre irá expulsar de seu interior um campo magnético externo, conforme figura ao lado. No entanto, esse fenômeno apenas acontece quando o campo magnético externo está abaixo de certo limite, denominado campo magnético crítico. Vale ressaltar que acima desse campo magnético crítico a supercondutividade desaparece.



**Efeito Meissner**

H: Campo Magnético Externo  
B: Resposta Magnética do Supercondutor

### Novo Estado da Matéria

A supercondutividade é considerada um estado da matéria, da mesma forma como os estados sólido, líquido e vapor. Uma mudança de estado ocorre quando algumas propriedades da substância mudam, tais como, num cubo de gelo que derrete, a forma de agregação das moléculas de água muda, acompanhada de uma mudança de densidade e da presença de calor latente durante a fusão. A supercondutividade tem um aspecto semelhante, por exemplo, o metal mercúrio, quando resfriado num campo magnético suficientemente fraco para temperaturas iguais ou menores a sua temperatura crítica - 4,2 K - apresentará calor latente, dando a supercondutividade o status de um estado da matéria.

A partir da descoberta feita por Onnes, iniciou-se uma busca por materiais supercondutores. Primeiramente procurou-se a supercondutividade em metais e ligas metálicas. Destacam-se alguns na tabela 1.

<b>Metal/Liga Metálica</b>	<b>Temperatura Crítica (<math>T_c</math>)</b>
Alumínio (Al)	1,17 K
Mercúrio (Hg)	4,2 K
Magnésio-Boro2 ( $\text{MgB}_2$ )	39 K

**Tabela 1. Metais/Ligas Metálicas e suas respectivas Temperaturas Críticas**

Em seguida, surgiram as cerâmicas supercondutoras de alta temperatura crítica, sendo formadas principalmente por óxidos de cobre. Destacam-se alguns na tabela 2. Ironicamente, os melhores condutores conhecidos, o Ouro (Au), a Prata (Ag) e o Cobre (Cu) não se tornam supercondutores em nenhuma temperatura. Uma vantagem dos supercondutores de temperatura crítica superiores a 77 K ( $-196^\circ\text{C}$ ) é que está é a temperatura de liquefação do Nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), muito abundante em nossa atmosfera e de fácil obtenção, facilitando o resfriamento das cerâmicas.

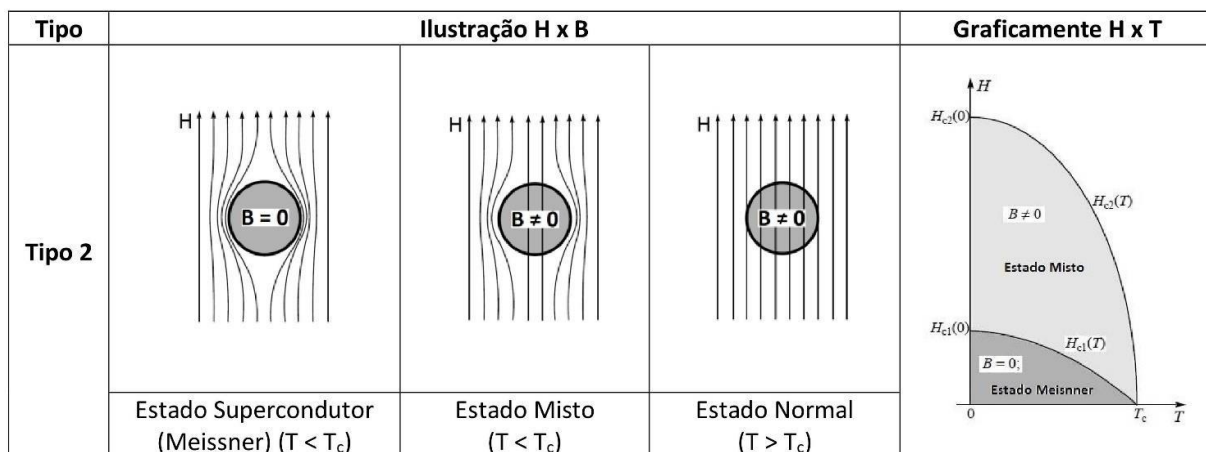
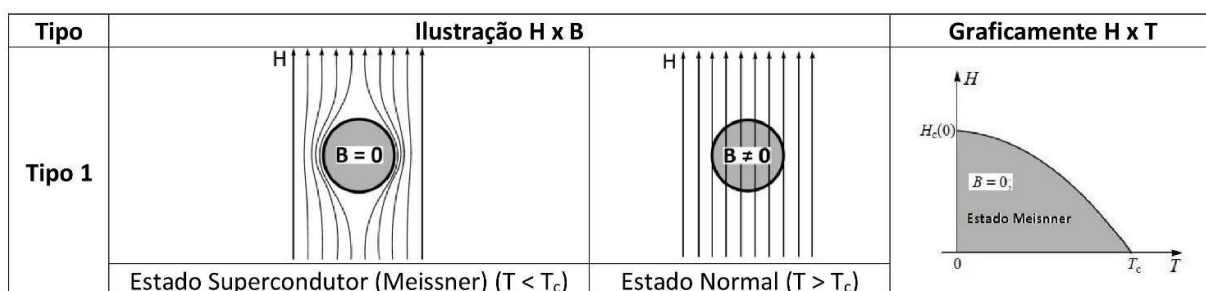
<b>Cerâmicas Supercondutoras (Óxidos de Cobre)</b>	<b>Temperatura Crítica (<math>T_c</math>)</b>
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$	93 K
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	115 K
$\text{Hg}_{0,8}\text{Tl}_{0,2}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8,33}$	138 K

Tabela 2. Cerâmicas Supercondutoras e suas respectivas Temperaturas Críticas

### Tipos de Supercondutores

O efeito Meissner é uma característica comum a todos os supercondutores, mas a forma como ele surge permite classificar os materiais supercondutores em TIPO 1 e TIPO 2. Os supercondutores do Tipo 1 ao sofrerem a transição de fase sob um campo magnético de valor menor que o crítico, não permitem que ocorra nenhuma penetração de campo no interior da amostra. Os metais são supercondutores do Tipo 1.

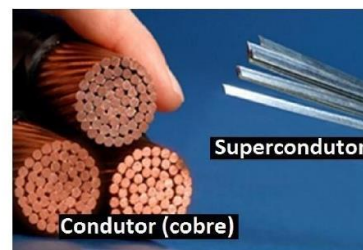
Os supercondutores do Tipo 2 possuem dois campos magnéticos críticos diferentes: o Estado Meissner, que ocorre para um valor de campo magnético crítico ( $B_{c1}$ ), em geral muito pequeno e sem penetração de fluxo magnético na amostra; e o Estado Misto, que ocorre para valores de campo magnéticos maiores, no qual o fluxo magnético penetra parcialmente. Vale ressaltar que no segundo Estado, o campo magnético crítico ( $B_{c2}$ ) é em geral muito maior que no Estado Meissner, permitindo ampla aplicação tecnológica dos supercondutores desse tipo. Os metais Vanádio, Tecnécio, Nióbio, algumas ligas metálicas e as cerâmicas são supercondutores do Tipo 2. Ver quadros abaixo.



H: Campo Magnético Externo / B: Resposta Magnética do Supercondutor

### Aplicações dos Supercondutores

A supercondutividade acontece a baixas temperaturas, mas já existem aplicações industriais para os supercondutores. Uma das primeiras aplicações está no transporte de energia por fios sem resistência elétrica. No entanto, o difícil processo de fabricação e o preço de refrigeração torna a tecnologia muito cara para aplicações em longo alcance, limitando o uso a aplicações experimentais e de curtas distâncias. Os processos de produção de energia elétrica também são beneficiados pelos supercondutores, pois geradores e motores elétricos podem ter sua eficiência aumentada e seu tamanho reduzido graças à troca dos fios de cobre por seu equivalente supercondutor.



Fitas supercondutoras equivalentes ao fio de cobre



Equipamento de RMN

Supercondutores quando usados em bobinas podem produzir campos magnéticos poderosos. Este princípio é usado em equipamentos de ressonância magnética nuclear (RMN), que funcionam pelo princípio de ressonância magnética dos átomos de hidrogênio nas moléculas de água do corpo e aceleradores de partículas, como o LHC (Large Hadrons Colider), instalado entre a França e Suíça, desenvolvido para realizar a colisão entre prótons. Dos vestígios desse choque, pode-se descobrir como a matéria surgiu e se comporta no Universo.

O Efeito Meissner nos supercondutores pode ser usado para provocar a levitação magnética entre um supercondutor e um ímã colocado sobre ele. Este efeito pode ser usado para evitar o atrito mecânico das rodas do trem com o trilho, surge então, os trens magneticamente levitados (MAGLEV). O Japão já possui linhas de transporte em fase de testes e o Brasil desenvolve um projeto similar para transporte urbano, denominado MagLev Cobra, pesquisado e desenvolvido no Laboratório de Aplicações de Supercondutores – LASUP da UFRJ.

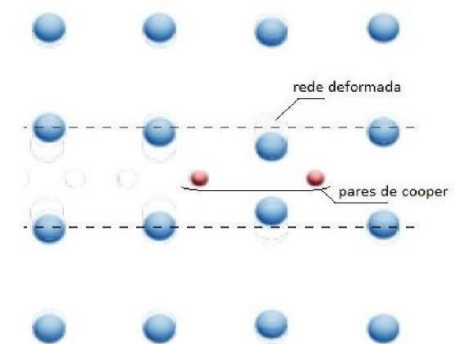


Trem MagLev Cobra - Brasil

Os supercondutores podem ser aplicados em dispositivos eletrônicos através das Junções Josephson, que são formadas de dois supercondutores separados por uma fina camada de material isolante. As junções podem ser colocadas em anéis supercondutores para detecção de campos magnéticos muito fracos, sendo nomeados de Squid. Uma outra aplicação das Junções Josephson está na eletrônica digital, onde microprocessadores simples baseados nas junções, já foram testados atingindo velocidades de chaveamento até 100 vezes maior que outros processadores semicondutores semelhantes, ou seja, a supercondutividade pode permitir que sejam construídos processadores até 100 vezes mais rápidos que os atuais.

### Teorias por traz da Supercondutividade

A única teoria capaz de explicar satisfatoriamente e ser compatível com as observações experimentais nos supercondutores é chamada de Teoria BCS, proposta em 1957, explicando adequadamente o fenômeno apenas para supercondutores metálicos, recebendo o nome de seus idealizadores: John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer, ganhadores do Premio Nobel de 1972. A teoria BCS prevê o aparecimento de pares de elétrons (Pares de Cooper) em movimento nos supercondutores. Essa formação de pares só é possível pelo acoplamento do par com a deformação da rede cristalina do material, denominada fônon. Um fônon é uma deformação mecânica que se propaga na rede cristalina do sólido como uma onda.



Rede cristalina do supercondutor

Esse acoplamento é explicado quando o primeiro elétron do par passa pela rede deformando os íons positivos e aproximando-os, produzindo então, uma região com maior carga positiva capaz de capturar através da atração coulombiana o segundo elétron do par, ver figura acima. Pode-se fazer uma analogia mecânica deste processo através do “efeito colchão”, com duas esferas sólidas e um colchão. Se uma das esferas se movimenta sobre o colchão, rolando sobre ele, ela deforma sua superfície, quando esta esfera passar próximo da segunda, a deformação produzida será capaz de captura-la e então as esferas passarão a estar em movimento acoplado (em pares). A interação elétron-rede-elétron ou simplesmente elétrons-fônon é o que explica satisfatoriamente a supercondutividade em supercondutores metálicos. No entanto, ainda hoje não existe uma teoria que explique por completo o fenômeno da supercondutividade em todos os supercondutores.

## SUPERCONDUTIVIDADE: UMA PROPOSTA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE FÍSICA

*Quadro 3 – Cronograma de Aplicação*

<b>nº</b>	<b>Atividade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo (aulas)</b>
<b>1</b>	Questionário investigativo para verificar os conhecimentos que os alunos tinham anteriormente com relação à Supercondutividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicou-se questionário sobre tema de Supercondutividade.</li> </ul>	1
<b>2</b>	Apresentação de Vídeos de Experimentos sobre Levitação Magnética.  Atividade 1 - Palavras Chave	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentou-se um vídeo de 23 min relacionado ao tema de Supercondutividade. Um vídeo ilustrando o tema de levitação Magnética (10 min);</li> <li>• Aplicou-se uma Atividade 1 – Palavras-Chave, durante a aula, foi pedido que os alunos anotassem as palavras ou palavras que julgassem relevantes durante a apresentação dos vídeos bem como durante a realização dos experimentos em classe.</li> </ul>	2
<b>3</b>	Atividade 2 – com auxílio do professor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No laboratório, com ajuda do professor foi realizada uma pesquisa que consiste no uso da internet para que estudantes procurassem pelas palavras e dúvidas conceituais obtidas durante a Atividade 2 – Significando Palavras-Chave que acharam importantes na Atividade 1: Palavras-chave.  Para os alunos que estavam assistindo aula de forma online, a professora pediu para que eles pesquisassem as palavras em seus próprios dispositivos eletrônicos.</li> </ul>	1
<b>4</b>	Atividade Mapa Conceitual 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foi apresentado aos alunos o que é um mapa conceitual por meio de slides. A partir disto, foi realizado um mapa conceitual utilizando as palavras-chave identificadas na Atividade 1. Posteriormente, foi realizado um segundo mapa conceitual em forma de exercício e teste.</li> </ul>	1
<b>5</b>	Estudo do Texto “Supercondutores”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura sugerida do texto “Supercondutores”. A turma foi dividida em grupos de forma que respeitasse as normas de protocolo de segurança, por causa da pandemia, para discutir os tópicos do texto com posterior apresentação.</li> <li>• A forma de divisão dos grupos aconteceu de forma que os alunos que estavam presencialmente eram um grupo e alunos na forma online outro grupo.</li> </ul>	2
<b>6</b>	Aula expositiva com Apresentação em Slides Aplicação de Exercício	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula expositiva do tema sobre supercondutividade apresentando subtópicos como: -Onde e como se aplica a supercondutividade; -Semicondutores; -Força magnética; -Indução magnética; -Imãs.</li> <li>• Foi aplicado exercícios sobre Supercondutividade após breve apresentação de slides com consulta ao texto.</li> </ul>	2



7	Atividade Mapa Conceitual 2	Novamente foi solicitada a elaboração de um Mapa Conceitual, após finalizar o tema Supercondutividade o qual foi utilizado como uma atividade avaliativa.	1
8	Experimento com os ímãs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foi realizado um experimento sobre diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo.</li> </ul>	1
9	Aplicar Questionário Avaliação dos Recursos Instrucionais e Questionário Autoavaliação Estudantil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foi aplicado um questionário por meio do google formulários em que foi capaz avaliar os recursos usados na sequência didática.</li> <li>• Aplicou-se um questionário de forma individual para que cada aluno pudesse avaliar e refletir seu aprendizado sobre o tema abordado.</li> </ul>	2

O Quadro a seguir exemplifica o conjunto de atividades realizadas sobre a supercondutividade numa forma didática e sequencial. Inclui-se neste quadro sugestões de mídia e todos os materiais utilizados para a completa realização das aulas.

*Quadro 4 – Detalhamento das Atividades da Sequência Didática Supercondutividade*

<p><b>Atividade 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Item:</b> Questionário investigativo sobre Supercondutividade.<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Objetivo:</b> Identificar quais os conhecimentos prévios dos estudantes sobre Supercondutividade.</li></ul></li><li>• <b>Duração:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• 1 aula;</li></ul></li><li>• <b>Material:</b> Google formulário.</li></ul>
<p><b>Atividade 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Item 1:</b> Vídeo sobre o tema de supercondutividade (23 min);<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Objetivo:</b> O vídeo explica de forma breve e visual sobre o fenômeno da Supercondutividade e suas aplicações, introduzindo assim melhor os alunos ao tema;</li></ul></li><li>• <b>Item 2:</b> Vídeo do fenômeno de levitação magnética<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Objetivo:</b> A apresentação do vídeo tem como objetivo ilustrar aos estudantes como ocorre o fenômeno da levitação magnética em um exemplo prático.</li></ul></li><li>• <b>Item 3:</b> Atividade 1 – Anotação de Palavras-Chave, as quais devem ser anotadas pelos alunos enquanto o vídeo é apresentado;<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Função:</b> Esta anotação tem a função de colaborar para a geração de organizadores prévios gerais.</li></ul></li><li>• <b>Duração:</b> 2 aula</li><li>• <b>Material:</b> Projeter Digital e Computador para os vídeos;</li></ul>
<p><b>Atividade 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Item 1:</b> Vídeo do experimento Paramagnetismo.<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Objetivo:</b> Mostrar o resultado da interação entre o campo magnético de um ímã com o campo magnético de outro ímã;</li></ul></li><li>• <b>Duração:</b> 1 aula</li><li>• <b>Material:</b> Projeter Digital e Computador para os vídeos.</li></ul>

**Atividade 4:**

- **Item:**  
Atividade 2 – Significando Palavras-Chave com pesquisa na internet sobre as Palavras-Chave do tema Supercondutividade;
  - **Objetivo:**  
Incentivar os estudantes a pesquisarem na internet as palavras anotadas enquanto assistiam os vídeos sobre Supercondutividade, bem como outras palavras que obtiveram dúvidas durante a aula.  
O objetivo desta atividade é oferecer aos estudantes os pré-requisitos sobre o fenômeno de supercondutividade, bem como introduzir os conceitos das teorias sobre o assunto e as aplicações dos supercondutores e seus diferentes tipos.  
**Obs.:** Caso não seja possível acessar a internet em aula, cabe ao professor determinar a melhor maneira de pesquisa. Como exemplo na falta de acesso a internet pelos alunos, o professor pode ficar responsável pela pesquisa em casa, e salvar as 10 primeiras páginas em mídia física externa como pen drives e assim disponibilizar aos alunos nos computadores do laboratório de informática.
  
- **Duração:**  
1 Aula
  
- **Material:**  
Dispositivos eletrônicos do laboratório de informática;  
Folhas A4 para a Atividade 2 – Significando Palavras-Chave;

**Atividade 5:**

- **Item:**  
Mapa Conceitual 1
  - **Objetivo:**  
Permitir que os alunos expressassem os conhecimentos obtidos sobre Supercondutividade até o momento.
  
- **Duração:**  
1 aula;
  
- **Material:**  
Folhas A4 para a produção do Mapa Conceitual 1;

**Atividade 6:**

- **Item 1:**  
Divisão da turma em grupos de acordo com os tópicos apresentados no texto para apresentação;
  - **Objetivo:**  
Para esta atividade, os estudantes deverão ser divididos em grupos, compartilhando assim os conhecimentos e dúvidas obtidas. Cada participante do grupo deverá apresentar o que entendeu de cada tópico com clareza.
  
- **Duração:**  
1 aula;
  
- **Material:**  
Folhas A4 para o texto “Supercondutores”;  
Plataforma Google Meets.

**Atividade 7:**

- **Item 1:**  
Leitura do texto em sala de aula, salientando os principais conceitos e sanando as possíveis dúvidas
  - **Objetivo:**  
Estimular a leitura do texto por parte dos alunos;
- **Duração:**  
1 aula
- **Material:**  
Já disponibilizado aos alunos.

**Atividade 8:**

- **Item 1:**  
Aula expositiva com apresentação de slides sobre Supercondutividade (40 min);
  - **Objetivo:**  
Realizar explicações decorrentes do fenômeno da supercondutividade, bem como apresentar conceitos, teorias e suas aplicações;
- **Item 2:**  
Aplicação do Exercício sobre Supercondutividade após a aula anterior. O texto fonte poderá ser utilizado como fonte de consulta para a execução desta atividade.
  - **Objetivo:**  
Realizar um teste dos conhecimentos obtidos por cada aluno verificando o aprendizado dos conceitos essenciais em cada questão comparada a atividade disponibilizada para consulta.
- **Duração:**  
2 aulas;
- **Material:**  
Projetor Digital e Computador a apresentação com Slides.

**Atividade 9:**



- **Item:**  
Mapa Conceitual
  - **Objetivo:**  
Permitir que o aluno possa expressar seus conhecimentos obtidos ao final da sequência didática sobre o tema Supercondutividade;
- **Duração:**  
1 aula;
- **Material:**  
Folhas A4 para a produção do Mapa Conceitual 2.  
Plataforma Classroom.

**Atividade 11:**

- **Item 1:**  
Experimento sobre Diamagnetismo da água  
**Objetivo:**  
A apresentação do experimento teve como objetivo ilustrar aos estudantes como ocorre o fenômeno do diamagnetismo em um exemplo prático. Com duração de 20 min
  
- Item 2:**  
Experimento sobre o Paramagnetismo.
  - **Objetivo:**  
A apresentação experimento teve como objetivo ilustrar aos estudantes como ocorre o fenômeno do paramagnetismo em um exemplo prático. Com duração de 15 min
  
- Item 3:**  
Experimento sobre o Ferromagnetismo.
  - **Objetivo:**  
A apresentação experimento teve como objetivo ilustrar aos estudantes como ocorre o fenômeno do ferromagnetismo em um exemplo prático. Com duração de 15 min
  
- **Duração:**  
1 aula;
  
- **Material:**  
Imãs.  
Tesoura.  
Um recipiente fechado com água.  
Fio de nylon.  
Dinamômetro.  
Clips.  
Moedas de cobre e Níquel.

**Atividade 11:**

- **Item 1:**  
Questionário Avaliação dos Recursos Instrucionais.  
**Objetivo:**  
Quantificar os efeitos dos recursos instrucionais empregados durante a aplicação da sequência didática em conjunto com os estudantes em seu interesse, participação, compreensão e realização das atividades propostas;
  
- Item 2:** Questionário Autoavaliação Estudantil.
  - **Objetivo:**  
Permitir que cada estudante fosse capaz de realizar uma autoavaliação sobre seu desempenho durante a realização desta sequência didática;
  
- **Duração:**  
1 aula;
  
- **Material:**
  - Formulário Google para os Questionários da Avaliação dos Recursos Instrucionais e Questionário da Autoavaliação Estudantil.

 <p><b>MNPEF</b> Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p>Universidade Estadual de Maringá Centro de Ciências Exatas Departamento de Física Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p><b>SBF</b> SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p>
--	--	--

Nome \_\_\_\_\_ | Data \_\_\_\_\_ | Turma \_\_\_\_\_

Prezado Aluno,

Peço a sua colaboração para o preenchimento do questionário abaixo. O objetivo deste questionário é verificar se o aluno já possui algum conhecimento prévio sobre Supercondutividade.

Não se preocupe se não souber nada sobre o assunto, apenas seja sincero ao responder cada questão.

1) Você sabe o que é a Supercondutividade?

( ) sim                      ( ) não

Explique com suas palavras: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2) Você já teve contato com algum material sobre Supercondutividade? Considere aqui, artigos, livros, internet, programas de tv, etc...

( ) Sim. Como você ouviu falar? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

( ) Não

3) Você sabe como ocorre o fenômeno da Supercondutividade?

( ) Sim                      Explique com suas palavras o que você sabe sobre Supercondutividade: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

( ) Não

4) Você tem conhecimento de alguma tecnologia envolvendo supercondutores?

( ) Sim                      Cite algum exemplo: \_\_\_\_\_

( ) Não

5) Você teria curiosidade de conhecer mais sobre a Supercondutividade?

( ) Sim                      O que você gostaria de aprender sobre Supercondutividade: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

**Vídeo 1 "Supercondutividade" e**  
**Vídeo 2 "Levitação Magnética em Pastilha Supercondutora"**

Vídeo 1: "Supercondutividade"

Link de acesso:

Supercondutividade 1: <http://www.youtube.com/watch?v=kknED0CaphE>

Supercondutividade 2: [http://www.youtube.com/watch?v=JqD\\_Ng1DIIs](http://www.youtube.com/watch?v=JqD_Ng1DIIs)

Supercondutividade 3: <https://www.youtube.com/watch?v=yvZV7bWMhw8>




Vídeo 2: "Levitação Magnética em Pastilha Supercondutora"

Link de acesso:

<http://www.youtube.com/watch?v=rIGHjQKpaB0>





 <p><b>MNPEF</b> Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p><b>U E M N P E F</b></p> <p>Universidade Estadual de Maringá Centro de Ciências Exatas Departamento de Física Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p><b>SBF</b> SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p>
--	--	--

Nome \_\_\_\_\_ | Data \_\_\_\_\_ | Turma \_\_\_\_\_

Prezado aluno, pesquise na internet o significado das palavras abaixo:

**Palavra 01:**

**Supercondutividade**

---

---

---

---

---

---

---

**Palavra 02:**

**Resistência Elétrica Nula**

---

---

---

---

---

---

---

**Palavra 03:**

**Efeito Meissner**

---

---

---

---

---

---

---

**Palavra 04:**

**Supercondutores Tipo I**

---

---

---

---

---

---

---

**Palavra 05:**

**Supercondutores Tipo II**

---

---

---

---

---

---

---

**Palavra 06:**

**Teoria BCS**

---

---

---

---

---

---

---

**Palavra 07:** Aplicações dos Supercondutores

---

---

---

---

---

---

Se além destas palavras já listadas você também foi capaz de identificar outras, pesquise na internet o significado das palavras consideradas relevantes por você nas atividades anteriores (vídeo e experimento). Procure quantas palavras julgar necessário.

**Palavra 08:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

**Palavra 09:** \_\_\_\_\_

---

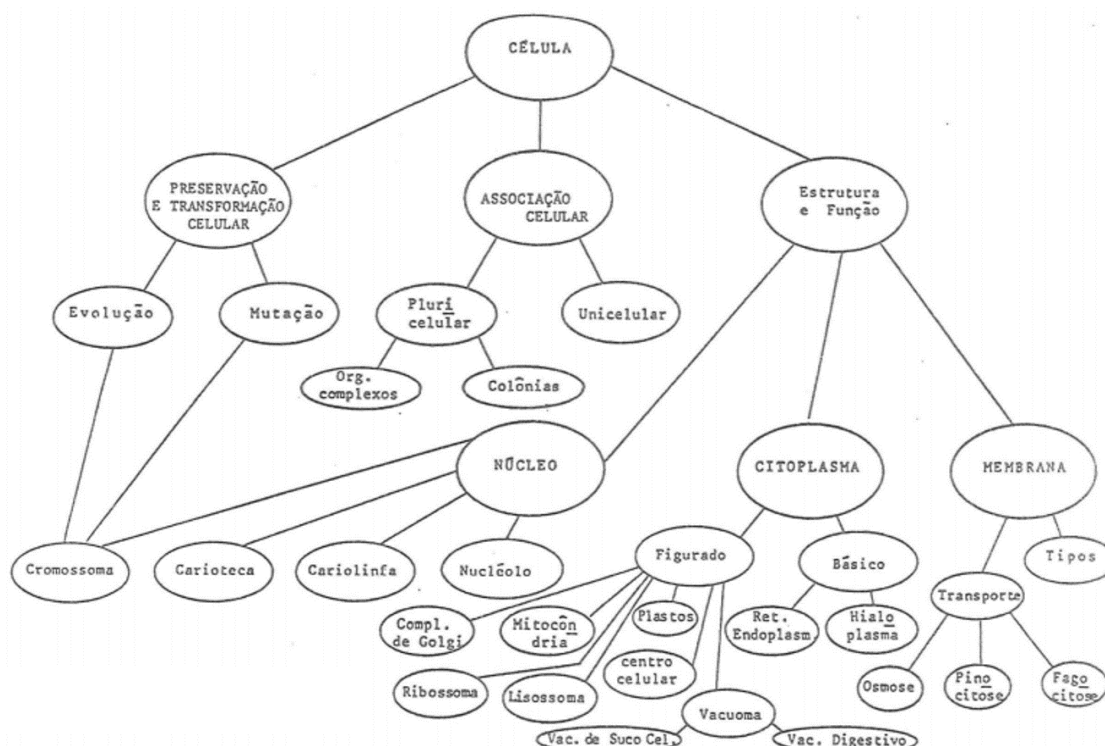
---

---

---

---

Um mapa conceitual é muitas vezes recorrido para a organização de ideias. Consiste na elaboração de um diagrama que é representado de forma gráfica, associando diversos conceitos de forma hierárquica e/ou conectando conceitos. Geralmente, são separados por nós representados por caixas ou círculos, que por sua vez são conectados por setas ou linhas.



Exemplo de Mapa Conceitual. Nele, é possível observar os principais componentes de uma célula, e sua relação entre eles.

Fonte: (MOREIRA, 1992)

Será apresentado aos alunos a formulação de um Mapa Conceitual, para que os alunos possam elaborar seus próprios mapas conceituais a partir da Atividade 1.

Nome:

Data:

Turma:

#### MAPA CONCEITUAL 01

Prezado aluno, peço a sua atenção para a elaboração de um **Mapa Conceitual** sobre os conceitos estudados em classe. Este mapa tem objetivo de verificar seus conhecimentos sobre a **Supercondutividade**.

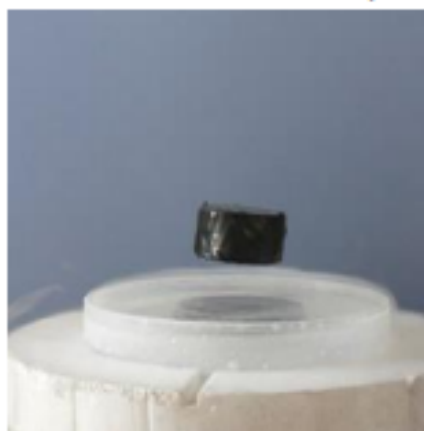
Faça o mapa conceitual com bastante **atenção**. Ele deve refletir o seu conhecimento.

### **Texto – SUPERCONDUTIVIDADE, O QUE É ISSO?**

O seguinte texto deverá ser disponibilizado aos alunos. No texto “Supercondutividade, o que é isso?”, os alunos deverão realizar um resumo sobre o que foi aprendido que deverá ser realizado de forma individual.

## SUPERCONDUTIVIDADE, O QUE É ISSO?

*Texto feito a partir de recortes de outros textos*



O fenômeno da supercondutividade é um fenômeno físico que foi descoberto em 1911 pelo físico holandês Kamerlingh Onnes, o qual recebeu o prêmio Nobel dois anos mais tarde em virtude de seus trabalhos com baixas temperaturas. Ele verificou que certos tipos de substâncias quando em temperaturas muito baixas, muito próximas do zero absoluto, apresentavam resistência elétrica quase nula, ou seja, elétrons livres que fazem a condução

da corrente elétrica podiam transitar livremente na rede cristalina. Esse fenômeno, observado por Onnes, ficou conhecido como supercondutividade e o material que se encontra nesse estado é denominado de supercondutor.

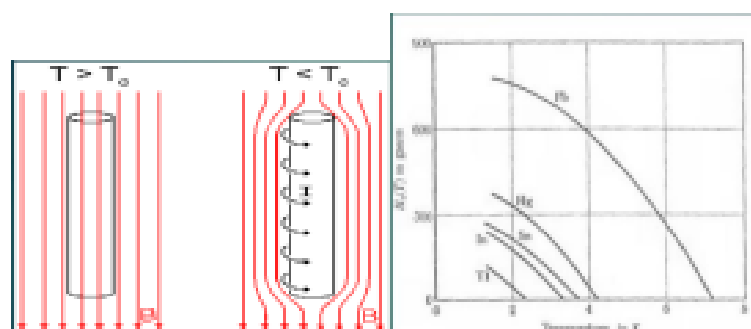
Existe uma temperatura na qual a substância passa a ser supercondutora, a qual é denominada de temperatura de transição e é variável de material para material. No mercúrio esse fenômeno ocorre à temperatura de 4K, já o chumbo à temperatura de 7K. Desde as descobertas realizadas por Onnes, inúmeros cientistas passaram a se preocupar em descobrir novas substâncias que pudessem apresentar o fenômeno da supercondutividade a altas temperaturas, ou seja, eles estavam tentando encontrar temperaturas de transição mais elevadas que as descobertas pelo físico Onnes. Apesar de todos os esforços, eles conseguiram chegar à temperatura de 25K. No ano de 1986 os cientistas tiveram grande surpresa, foi descoberto um novo material: uma cerâmica cuja composição tinha o óxido de cobre, misturados com lantânio ou ítrio e cuja temperatura de transição era 125K. Esse fato causou surpresa por que a cerâmica não é um bom condutor de eletricidade.

Os estudos na área da supercondutividade são muito importantes para inúmeros setores como, por exemplo, o setor de transmissão de energia elétrica. Nas transmissões de energia elétrica que ocorrem atualmente é contabilizada significativa perda de energia por efeito joule, efeito esse que ocorre em virtude da resistência dos cabos que transmitem energia. Nesse sentido, futuramente os materiais supercondutores poderão ser empregados no sistema de transmissão de energia elétrica de modo a tornar as perdas de energia menores.

A teoria de Bardeen, Cooper e Schrieffer (BCS) é a única capaz de explicar a origem microscópica da supercondutividade, porém, seu domínio de validade se restringe aos supercondutores convencionais. A teoria BCS foi desenvolvida em 1957 e seus autores ganharam o prêmio Nobel de 1972 pelo seu desenvolvimento. De acordo com a teoria BCS, o estado supercondutor está separado do estado normal por um gap de energia.

Esse gap seria originado da interação elétron-phonon-elétron. Essa interação indireta entre dois elétrons acontece quando o primeiro elétron interage com a rede cristalina e a deforma. O segundo elétron interage com a rede cristalina deformada e altera seu estado, de modo a diminuir sua energia. Essa interação entre os elétrons é, na verdade, atrativa! O par de elétrons que se interage possui característica central, que é: se um orbital com vetor de onda  $k$  e spin up está ocupado, então um orbital com vetor de onda  $-k$  e spin down também está ocupado, o mesmo ocorrendo pra estados desocupados. Esse par de elétrons recebe o nome de par de Cooper, e é essencial para a teoria BCS. Porém, a teoria falha ao prever um limite superior para a temperatura de transição de fase supercondutora e ao descartar a possibilidade de coexistência entre supercondutividade e ferromagnetismo, o que mostra que ainda há muito a ser feito nessa área.

A princípio, se pensava que a supercondutividade fosse nada mais que a manifestação de resistividade elétrica nula (condutores ôhmicos perfeitos) ➤ A definição de supercondutividade veio em 1933 quando Meissner descobriu que um supercondutor, abaixo de sua temperatura crítica, repele o campo magnético em seu interior ➤ Além disso, o regime supercondutor é quebrado se o campo  $B$  ultrapassar o chamado campo crítico  $B_c$



Existem cinco tipos básicos de magnetismo, de acordo com o comportamento magnético dos materiais em resposta a um campo magnético (dependendo da temperatura). São eles:

- Diamagnetismo
- Paramagnetismo
- Ferromagnetismo
- Ferrimagnetismo
- Antiferromagnetismo

### Paramagnetismo

Em muitas substâncias os átomos possuem um momento dipolo magnético. Podemos imaginar seus átomos como pequenos ímãs (dipolos magnéticos). Neste tipo de material, os momentos orbital magnético e momento de spin dos átomos estão orientados de tal forma que cada átomo possui um momento dipolo magnético permanente.

Porém, sem a presença de um campo magnético externo, esses pequenos dipolos se orientam de maneira caótica, de modo que o campo magnético resultante é zero. É devido a fatores como a agitação térmica, a direção dos momentos magnéticos dos átomos possui orientação aleatória. Assim, o momento magnético resultante do átomo é igual a zero.

Porém, se um desses materiais for exposto a um campo magnético externo, seus dipolos magnéticos internos tentarão se alinhar na mesma direção desse campo (norte com norte e sul com sul). Desta forma, o material adquire um momento magnético resultante – ou seja, fica magnetizado.

O grau desse alinhamento depende de dois fatores: a intensidade do campo magnético (quanto maior o campo, mais fácil o alinhamento) e da temperatura (quanto menor a temperatura, mais fácil o alinhamento). Temperaturas mais altas causam maior agitação em nível atômico, o que amplia a aleatoriedade da orientação dos dipolos.

Se o campo magnético externo for removido, o caos retorna imediatamente aos dipolos do material, e não há magnetismo resultante – o material não se torna um ímã permanente, pois o alinhamento dos dipolos atômicos se perde devido à agitação térmica.

Materiais paramagnéticos são atraídos por um ímã, porém de forma extremamente fraca.

A seguir temos algumas das principais características de materiais paramagnéticos:

- Cada átomo no material é um dipolo magnético, que possui um momento magnético resultante.
- Quando colocada em um campo magnético externo, uma substância paramagnética é fracamente atraída e magnetizada na mesma direção do campo
- Em um campo magnético não-uniforme, esses materiais tem a tendência de se moverem da região mais fraca para a região mais forte do campo.
- Ao remover o campo magnético externo, a substância paramagnética perde seu magnetismo.
- Sua suscetibilidade magnética é bem pequena, porém positiva, e diminui com o aumento da temperatura

Exemplos de substâncias paramagnéticas: Alumínio, Platina, Tungstênio, Manganês, Cromo, Rutênio, Nióbio, Oxigênio.

### **Diamagnetismo**

Todos os materiais, quando expostos a um campo magnético, reagem em algum grau a esse campo, gerando, em escala atômica, uma EMF (força eletromotriz) que se opõe a esse campo.

Substâncias diamagnéticas são fracamente magnetizadas quando colocadas em um campo magnético, porém em direção oposta ao campo aplicado.



Em uma substância diamagnética, os momentos orbital magnético e momento de *spin* estão orientados de tal forma que a soma vetorial do momento magnético do átomo é igual a zero.

Quando um material diamagnético é posicionado em um campo magnético, uma força eletromotriz induzida aumenta em cada átomo. Por conta disso, a velocidade dos elétrons que giram em uma direção aumenta, ao passo que elétrons que giram na direção oposta tem a sua velocidade reduzida. Desta forma, o material acaba adquirindo um momento magnético resultante em uma direção oposta à do campo aplicado.

Podemos, assim, listar as seguintes características dos materiais diamagnéticos:

- Um material diamagnético é repelido por um campo magnético externo (são repelidos por um ímã)
- O momento magnético de cada átomo é igual a zero.
- Quando colocada em um campo magnético externo, uma substância diamagnética é fracamente magnetizada, porém na direção oposta à do campo.
- Em um campo magnético não-uniforme, esses materiais tem a tendência de se moverem da região mais forte para a região mais fraca do campo.
- Sua suscetibilidade magnética é negativa.
- Não possuem retentividade magnética – ao retirarmos o campo magnético externo, essas substâncias perdem seu magnetismo.

Exemplos de substâncias diamagnéticas: Cobre, Prata, Ouro, Zinco, Cádmio, Água, Bismuto, Antimônio, Mercúrio, Xenônio.

### Ferromagnetismo

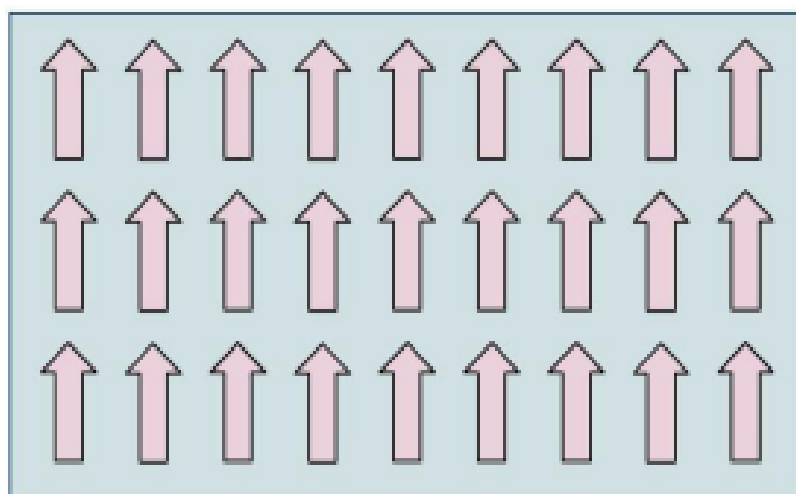
Uma substância ferromagnética é fortemente magnetizada quando inserida em um campo magnético, na mesma direção do campo aplicado. Além disso, esse tipo de substância tende a reter o momento magnético mesmo após a retirada do campo externo aplicado, tornando-se elas próprias ímãs. Materiais ferromagnéticos são atraídos por um **ímã**, de forma muito mais intensa que os materiais paramagnéticos.

O ferromagnetismo é, na verdade, uma manifestação especial do paramagnetismo. Porém, em materiais ferromagnéticos, o momento dipolo magnético dos átomos resultante é altamente influenciado pelo momento magnético de spin.

Nos materiais ferromagnéticos, os átomos também possuem momentos dipolos magnéticos. Porém, nesses materiais os átomos se alinham em domínios magnéticos, que são regiões nas quais os dipolos magnéticos estão 100% alinhados em uma mesma direção. Essas regiões podem ter até décimos de milímetro de tamanho. Porém, esses domínios se orientam em direções aleatórias entre si no material, de modo que o efeito magnético resultante é zero.

Ao aplicarmos um campo magnético, os domínios de um material ferromagnético se alinham na direção do campo aplicado. Se o campo magnético for forte o suficiente, o material alcançará o que chamamos de Saturação Magnética, na qual todos os domínios

estão alinhados na mesma direção. Neste caso, o magnetismo perdurará mesmo quando o campo magnético externo for retirado, e o material terá se transformado em um ímã permanente.



### Orientação dos momentos magnéticos em um material Ferromagnético

Para remover esse magnetismo permanente o material deve ser aquecido a uma temperatura suficiente (temperatura Curie) para provocar novamente desordem entre os domínios magnéticos (que continuam a existir), ou então provocar choques físicos fortes no material (por exemplo, martelando-o!).

Listamos a seguir algumas características dos materiais ferromagnéticos.

- Quando colocados em um campo magnético externo, se tornam fortemente magnetizados na mesma direção do campo.
- Não perdem o magnetismo quando o campo magnético externo aplicado é removido, se tornando ímãs permanentes.
- Se tornam paramagnéticas se aquecidas acima do ponto Curie.
- São formadas por um grande número de pequenos domínios magnéticos.
- São atraídos fortemente por campos magnéticos externos
- Sua suscetibilidade magnética é grande, e positiva.

Exemplos de substâncias diamagnéticas: Níquel, Cobalto, Ferro, Neodímio, Samário; Ou seja, os Metais de Transição e as Terras Raras (Lantanídeos).

### Ferrimagnetismo

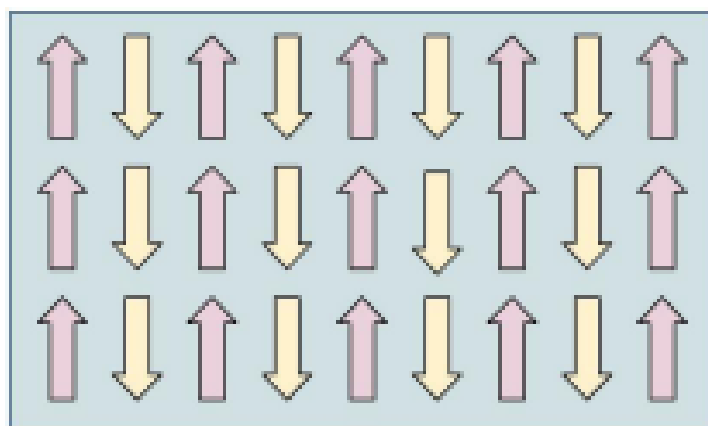
No ferrimagnetismo, os momentos magnéticos dos átomos do material se alinham de forma antiparalela (em direções opostas), porém de forma não igual, com um momento magnético resultante diferente de zero. Ou seja, temos uma orientação magnética antiparalela (acoplamento de troca negativo) entre momentos vizinhos.

Assim, uma magnetização espontânea permanece no material. Isso ocorre, geralmente, quando os conjuntos de átomos consistem em diferentes materiais ou ainda ions, como  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ .

O ferrimagnetismo é como uma espécie de combinação de ferromagnetismo com antiferromagnetismo, devido às similaridades entre suas propriedades.

Esse tipo de material encontra muitas utilidades em tecnologia, como na fabricação de discos rígidos de computadores, motores de potência e geradores de energia.

Se um material ferrimagnético for aquecido acima de seu ponto Curie, perderá sua magnetização, se comportando de forma paramagnética.



### **Orientação antiparalela dos momentos magnéticos em um material Ferrimagnético**

A magnetita, exemplo mais antigo conhecido de material magnético, apresenta ferrimagnetismo (e não ferromagnetismo).

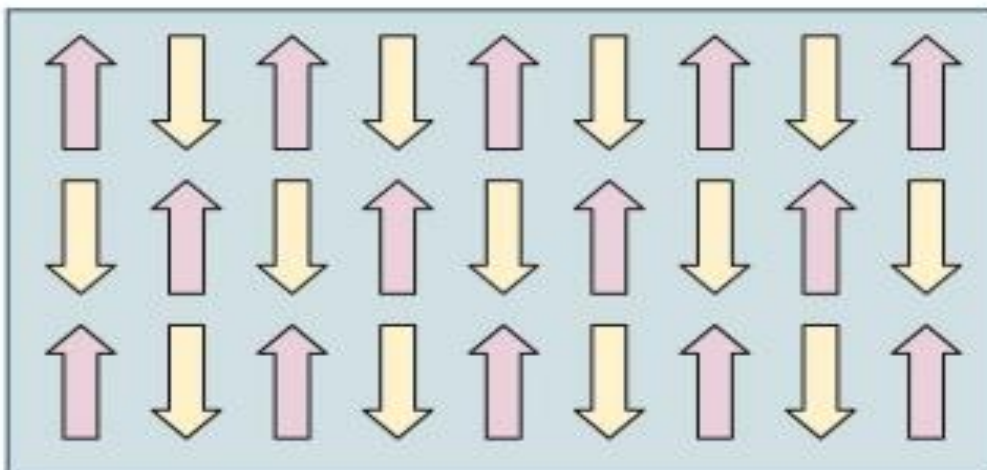
Exemplos de materiais que apresentam ferrimagnetismo são as Ferrites Cerâmicas (óxidos cerâmicos) e algumas pedras como a Granadas de Ferro-Ítrio e a Pirrotita.

Uma ferrite é, no geral, um material cerâmico criado a partir do óxido de um metal de transição, isolante, com uma fórmula química geral do tipo  $MO \cdot Fe_2O_3$ , no qual  $M$  é um íon bivalente especial como  $Mn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  ou  $Fe^{2+}$ , entre outros. Por exemplo, uma ferrite de níquel tem a fórmula  $NiO \cdot Fe_2O_3$ .

### **Antiferromagnetismo**

Materiais antiferromagnéticos são aqueles nos quais os momentos magnéticos dos átomos ou moléculas se alinham em direção oposta. Portanto, os momentos magnéticos são ordenados, mas de forma antiparalela.

Esse alinhamento ordenado de um material antiferromagnético desaparece a partir de uma temperatura chamada de Temperatura Néel, que recebe esse nome por conta do cientista Louis Néel, que descobriu o fenômeno. Acima da temperatura Néel, o material antiferromagnético se torna paramagnético.



### Orientaão antiparalela desigual dos momentos magnéticos em um material antiferromagnético

O antiferromagnetismo tem um papel muito importante em um fenômeno quântico chamado de *Magneto-resistência Gigante*, que possui inúmeras aplicaoes, tais como na fabricaao de discos rigidos de computadores, biosensores, sistemas microeletromecânicos (sensores MEMS), RAM magneto-resistiva (MRAM) e outros.

Exemplos de materiais antiferromagnéticos: Hematita, FeMn (Liga de Ferro-Manganês), NiO (óxido de niquel).

Na próxima liao falaremos sobre os tipos de imãs, temporários e permanentes, com destaque para os imãs permanentes.


### Referências

- Gebreselasie, D. *Electricity, Magnetism, Optics and Modern Physics* 1 Ediao 2015 Ed. Bookboon
- Crowell, B. *Electricity and Magnetism* 2 Ediao 2002 Ed. Light and Matter
- Buschow, K.H.J.; De Boer, F.R. *Physics of Magnetism and Magnetic Materials* 1 Ediao 2004 Ed. Kluwer Academic Publishers
- Supercondutividade, FÍSICA UFPR. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grad/supercondutividade.pdf> . Acessado 18 de janeiro de 2021.
- Supercondutividade que isso?, **Mundo educaao**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/supercondutividade-que-isso.htm>. Acessado 18 de janeiro de 2021.

Extraído de:

- Gebreselasie, D. *Electricity, Magnetism, Optics and Modern Physics* 1 Ediao 2015 Ed. Bookboon
- Crowell, B. *Electricity and Magnetism* 2 Ediao 2002 Ed. Light and Matter
- Buschow, K.H.J.; De Boer, F.R. *Physics of Magnetism and Magnetic Materials* 1 Ediao 2004 Ed. Kluwer Academic Publishers
- Supercondutividade, FÍSICA UFPR. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grad/supercondutividade.pdf> . Acessado 18 de janeiro de 2021.
- Supercondutividade que isso?, **Mundo educaao**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/supercondutividade-que-isso.htm>. Acessado 18 de janeiro de 2021.

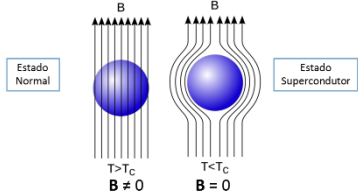
**Slides para Aula Expositiva - Supercondutividade**



## Supercondutividade

### Efeito Meissner

Todo supercondutor tem a propriedade de repelir o fluxo magnético do seu interior abaixo da temperatura e campo magnético críticos do material




Estado Normal:  $T > T_c$ ,  $B \neq 0$

Estado Supercondutor:  $T < T_c$ ,  $B = 0$


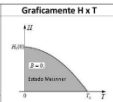
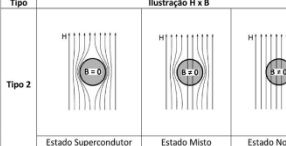
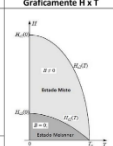
### Descoberta

A supercondutividade foi primeiramente verificada por Heike Kamerlingh Onnes em 1911 em Leiden (Holanda). Ele observou que o mercúrio (Hg) era capaz de transportar corrente elétrica sem quase nenhuma resistência elétrica na temperatura de  $-268,95^\circ\text{C}$ .

Heike Onnes deu o nome de **supercondutividade** a este fenômeno. Em 1913, recebeu o Prêmio Nobel pela descoberta.



### Tipos de supercondutores

Tipo	Ilustração H x B	Graficamente H x T
Tipo 1		
Tipo 2		

H: Campo Magnético Externo / B: Resposta Magnética do Supercondutor

### Resistência Nula

Os supercondutores transportam corrente elétrica sem perda de energia por calor (Efeito Joule).

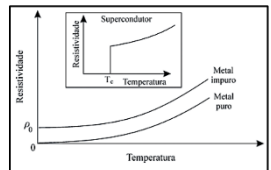


Figura 1 - Comportamento resistivo de um metal puro e de um metal contendo impurezas e ou falhas na estrutura cristalina. O detalhe gráfico inserido mostra o comportamento distinto de um supercondutor, em que a resistividade se anula abaixo de  $T_c$ .

### Teoria BCS

A Teoria BCS: para supercondutores do Tipo I.

Foi elaborada em 1957 por John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer (ganhadores do Prêmio Nobel de 1972).

Esta teoria prevê a formação de pares de superelétrons (pares de Cooper) que interagem com a rede cristalina do material produzindo um movimento ordenado e sem choque entre os pares e a rede cristalina. Isto ainda não foi verificado para supercondutores do Tipo II.

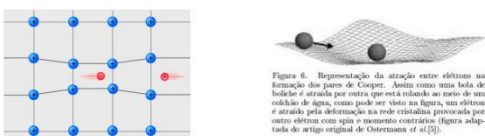
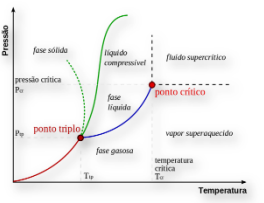
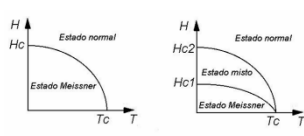


Figura 6. Representação da atração entre elétrons na formação dos pares de Cooper. Assim como uma bola de boliche é atraída por outra que está rolando ao longo de um cilindro de água, como pode ser visto na figura, um elétron é atraído pela deformação na rede cristalina provocada por outro elétron com spin e momento contrários (figura adaptada do artigo original de Ostermeyer et al [3]).

### Novo Estado Físico

Efeito da aplicação de campo magnético a supercondutores do tipo I e II.

### Aplicações

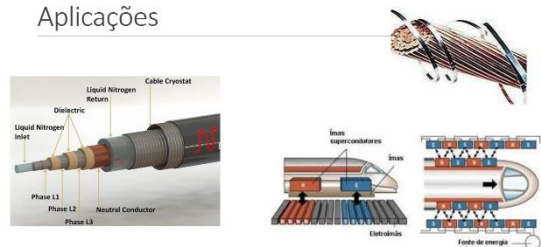
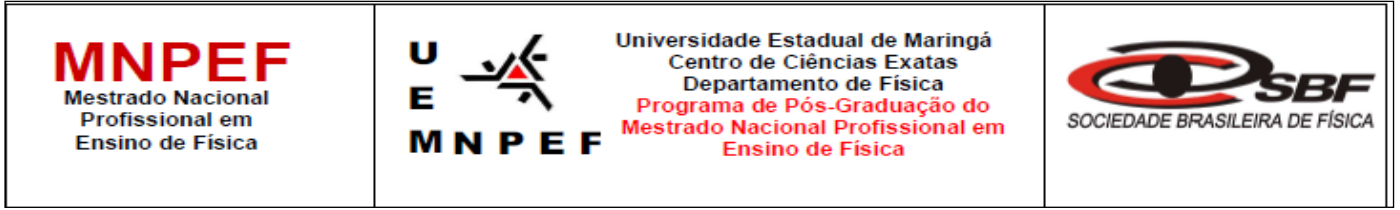


Diagrama de um cabo supercondutor com: Líquido Nitrogênio, Retorno, Condutor de Cristal, Fase L1, L2, L3, Condutor Neutro, Isolante, Eletrodos, e fonte de energia elétrica.

Equipamentos de Resseonância Magnética Nuclear (RMN)

Ressonância Magnética	<b>Componentes de um sistema de RMN</b>
Magneto Principal	1.2. Magneto Principal
Magneto Resistivo	
Magneto Permanente	
Magneto Supercondutor	
Imagens	



Nome

Data

Turma

Prezado Aluno,

Esta atividade tem a finalidade de identificar o seu aprendizado sobre o tema da Supercondutividade. Seja cauteloso em responder as questões abaixo, sendo claro e objetivo em suas respostas.

1) Quais os conceitos mais importantes sobre a supercondutividade em sua opinião?

---

---

---

---

---

---

---

---

2) Explique mais sobre paramagnetismo?

---

---

---

---

---

---

---

---

3) O que é diamagnetismo?

---

---

---

---

---

---

---

---

4) Como podemos definir o Efeito Meissner?

---

---

---

---

---

---

---

---

5) Explique o que é a Teoria BCS?



---

---

---

---

---

---

6) Qual diferença de ferrimagnetismo e ferromagnetismo?

---

---

---

---

---

---

7) É possível dizer que os avanços na compreensão da supercondutividade podem estar relacionada à uma provável revolução tecnológica? Por quê?

---

---

---

---

---

---

Supercondutividade é um novo estado físico, semelhante aos estados sólido, líquido e gasoso, apresentando resistência elétrica nula e o Efeito Meissner como características da fase supercondutora.

- Conceitos Importantes:
  - Nova fase da matéria (estado físico);
  - Resistência elétrica nula como característica;
  - Efeito Meissner como característica;

Os supercondutores podem ser divididos atualmente em 2 grupos, os do TIPO I e do TIPO II. Os supercondutores do TIPO I são caracterizados por apresentar o Efeito Meissner (Estado Meissner) com uma total blindagem magnética, ou seja, dentro de certos limites de campo magnético e corrente, o supercondutor é capaz de bloquear completamente a passagem de campo magnético externo em seu interior (ver fig. 1). Os metais são supercondutores do TIPO I, exceto Vanádio, Tecnécio e Nióbio.

Os supercondutores do TIPO II, também apresentam o Efeito Meissner, mas em dois estágios, o primeiro acontece para pequenos valores de campo magnético com completa expulsão de fluxo magnético do interior do supercondutor.

O aparecimento do Efeito Meissner e a queda da resistência elétrica a zero, de forma abrupta, no material supercondutor.

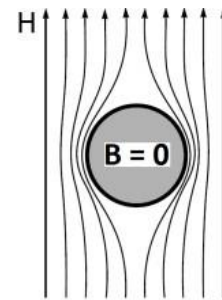
- Conceitos Importantes:
  - Efeito Meissner;
  - Resistência elétrica nula;

É a total ou parcial expulsão de um campo magnético externo de uma amostra de material na fase supercondutora. Este efeito está presente nos supercondutores do TIPO I e do TIPO II, respectivamente.

- Conceitos Importantes:
  - Expulsão total de fluxo magnético;

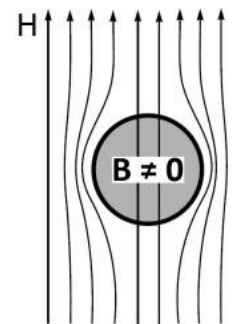
Teoria desenvolvida pelos Físicos John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schrieffer, sendo a única capaz de explicar o mecanismo responsável pela supercondutividade em supercondutores do TIPO I. Sua principal característica reside na proposta de acoplamento de elétrons com deformações da rede cristalina do material. O primeiro elétron do par ao passar pela rede cristalina é capaz de deformá-la por atração colombiana dos íons positivos próximos, esta deformação leva um tempo para se desfazer, permitindo a existência de uma região positiva, capaz de capturar o segundo elétron do par, formando pares de elétrons (pares de Cooper) em movimento pela rede cristalina de forma ordenada e sem choques. Este comportamento, pode ser visualizado com uma analogia mecânica chamada de “efeito colchão”, onde duas esferas metálicas são os pares de elétrons e a deformação no colchão representa a deformação na rede cristalina. Quando a primeira bola entra em movimento a deformação gerada desloca-se junto e leva um tempo para cessar, ao passar perto da segunda esfera a deformação provocada pela primeira irá capturar a segunda, permitindo que as bolas metálicas se movimentem aos pares pelo colchão. Vale ressaltar que não existe, ainda hoje, uma teoria que explique a supercondutividade em todos os supercondutores.

- Conceitos Importantes:
  - Pares de Elétrons;
  - Pares de Cooper;
  - Movimento acoplado entre pares de elétrons com a rede cristalina;



Estado Supercondutor (Meissner)

Seja - H: Campo Magnético Externo /  
B: Resposta Magnética do Supercondutor



Estado Misto

Seja - H: Campo Magnético Externo /  
B: Resposta Magnética do Supercondutor

- Interação Elétrons-Fônons;
- Efeito "colchão";




Os supercondutores são usados geralmente em trens maglev, equipamentos de RMN, aceleradores de partículas, junções Josephson, squid's, magnetômetros e fios de transmissão para curtas distâncias. Com a possível descoberta de supercondutores de maior temperatura crítica, melhora-se e amplia-se a aplicação tecnológica destes materiais a toda eletroeletrônica moderna.

- Conceitos Importantes:
  - Trens maglev;
  - Equipamentos de RMN;
  - Aceleradores de Partículas;
  - Magnetometria;
  - Fios de Transmissão de Energia;
  - Junções Josephson;
  - Squid's;

A descoberta de supercondutores de alta temperatura crítica pode revolucionar toda a eletrônica moderna, o setor de produção, transmissão e armazenamento de energia elétrica e transportes. A primeira aconteceria com a possível substituição de transistores a base de silício por seu equivalente supercondutor, possibilitando a criação de circuitos eletrônicos menores, mais eficientes e velozes. A segunda aconteceria pela utilização de supercondutores em geradores elétricos, linhas de transmissão e baterias que se valeriam da resistividade nula destes materiais, não havendo perdas energéticas por efeito joule nestes equipamentos. A terceira seria possível graças ao Efeito Meissner presente nos supercondutores, permitindo a criação de veículos levitados magneticamente, como os trens maglev.

Extraído de: Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio; Dissertação de Mestrado Profissional do Centro de Ciência Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014 (VIEIRA, 2014).

## **Questionário de Avaliação dos Recursos Instrucionais**

 <p><b>MNPEF</b> Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p>Universidade Estadual de Maringá Centro de Ciências Exatas Departamento de Física Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p><b>SBF</b> SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p>
--	--	--

Nome \_\_\_\_\_

Data \_\_\_\_\_

Turma \_\_\_\_\_

Prezado Aluno,

Esse questionário tem o objetivo de verificar o quanto você se sentiu motivado ao estudar sobre Supercondutividade com a utilização dos **Recursos Instrucionais** durante todo o trabalho.

O importante é que sua resposta reflita sua opinião em cada questão.

Dê sua nota, marcando um **X**, para cada item de avaliação, de acordo com a seguinte gradação:




<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Péssimo</b>	<b>Rui</b>	<b>Regula</b>	<b>Bom</b>	<b>Ótimo</b>
	<b>m</b>	<b>r</b>		

		Péssimo ..... Ótimo				
		1	2	3	4	5
<b>1</b>	Os Recursos Instrucionais utilizados despertaram meu interesse para o fenômeno Supercondutividade?					
<b>2</b>	Os Recursos Instrucionais utilizados contribuíram para que eu participasse da aula respondendo às perguntas dirigidas a turma?					
<b>3</b>	Os Recursos Instrucionais utilizados contribuíram para que eu participasse da aula fazendo, espontaneamente, perguntas ou comentários sobre o fenômeno Supercondutividade?					
<b>4</b>	Os Recursos Instrucionais utilizados aumentaram minha disposição em realizar as atividades propostas?					
<b>5</b>	Os Recursos Instrucionais utilizados contribuíram para que eu visualizasse o fenômeno e assim compreendesse melhor as Propriedades, Conceitos e Teorias associadas a Supercondutividade?					
<b>6</b>	Os Recursos Instrucionais utilizados prenderam a minha atenção para as explicações e as discussões sobre Supercondutividade?					
<b>7</b>	Os Recursos Instrucionais aumentaram o meu interesse em buscar mais informações sobre o tema Supercondutividade?					
<b>8</b>	Os Recursos Instrucionais aumentaram o meu interesse em buscar mais informações sobre Física e Ciências em geral?					
<b>9</b>	Os Recursos Instrucionais me ajudaram a entender melhor o fenômeno da Supercondutividade?					
<b>10</b>	Classifique o curso de Supercondutividade.					

<b>11</b>	Os Recursos Instrucionais utilizados contribuíram para que eu relacionasse o fenômeno da supercondutividade com alguma aplicação tecnológica? Sim ( ) Qual? _____ Não ( )
-----------	---

<b>12</b>	Sugestão, críticas ou elogios.
	Utilize o verso, se necessário.

## **Questionário de Autoavaliação Estudantil**

 <p><b>MNPEF</b> Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p>Universidade Estadual de Maringá Centro de Ciências Exatas Departamento de Física Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p><b>SBF</b> SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p>
--	--	--

Nome \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_ Turma \_\_\_\_\_

Prezado Aluno,

Esse questionário tem o objetivo de permitir uma auto avaliação durante todo o trabalho. O importante é que sua resposta reflita sua opinião em cada questão.

Dê sua nota marcando com um **X** em cada item de avaliação, de acordo com a seguinte classificação:

1	2	3	4	5
Nunca	Poucas Vezes	Às Vezes	Muitas Vezes	Sempre

		1	2	3	4	5
		Nunca	Poucas Vezes	Às Vezes	Muitas Vezes	Sempre
01	Sou pontual e evito faltar as aulas.					
02	Tenho comportamento adequado a uma sala de aula.					
03	Respeito os meus colegas no seu espaço de aula.					
04	Estou atento e concentrado durante as aulas da disciplina.					
05	Esclareço as dúvidas que tenho em devido tempo.					
06	Sou portador do material necessário à aula.					
07	Faço registro dos assuntos que considero relevantes para a minha aprendizagem em meu caderno.					
08	Estou empenhado na execução das tarefas propostas.					
09	Sou metódico e rigoroso na execução das tarefas propostas.					
10	Distribuo meu tempo adequadamente para a execução das tarefas propostas.					
11	Cumpro todos os requisitos das tarefas propostas.					
12	Mostro empenho em apresentar as tarefas bem feitas, de acordo com minhas capacidades.					
13	Faço as atividades propostas para casa em tempo de entrega-las e/ou discuti-las.					



14	Como avalio o meu desempenho geral durante o trabalho:
----	--

## **Planos de Aula dos Conhecimentos Prévios sobre Tema Supercondutividade**

### Roteiro básico para Plano de Aula – Supercondutividade

<p><b>I. Plano de Aula:</b> Diamagnetismo, Paramagnetismo e Ferromagnetismo. Data:</p>
<p><b>II. Dados de Identificação:</b> Instituição: Professor (a): Professor (a) estagiário (a): Disciplina: Período: Turma:</p>
<p><b>III. Tema:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>As diferenças e os efeitos de materiais Diamagnéticos, Paramagnéticos e Ferromagnéticos.</li> </ul>
<p><b>IV. Conhecimentos Prévios:</b> Sem conhecimentos prévios iniciais;</p>
<p><b>V. Objetivos:</b></p> <p><b>Objetivo geral:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conhecer os principais materiais: Diamagnéticos, Paramagnéticos e Ferromagnéticos e os efeitos dessas substâncias magnéticas.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Entender o comportamento e o domínio de uma substância diamagnética na presença de um campo magnético externo;</li> <li>Identificar a causa do efeito do Diamagnetismo, Magnetismo e Ferromagnetismo;</li> <li>Determinar as permeabilidades relativas típicas de materiais Diamagnéticos, Paramagnéticos e Ferromagnéticos;</li> </ul>
<p><b>VI. Conteúdo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eletricidade;</li> <li>Campo Magnético;</li> <li>Eletromagnetismo;</li> </ul>
<p><b>VII. Desenvolvimento do tema:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Atividade de pesquisa, em casa ou no laboratório de informática da escola sobre o tema Supercondutividade;</li> <li>Apresentação do vídeo (10 min): “Levitação”;</li> <li>Apresentação de experimentos referente o Diamagnetismo, Paramagnetismo e Ferromagnetismo;</li> <li>Discussão dos tipos de materiais e efeitos Diamagnéticos, Paramagnetismo e Ferromagnetismo com aula expositiva;</li> </ul>
<p><b>VIII. Recursos didáticos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Projeter Digital;</li> <li>Computador;</li> <li>Caixa Acústica;</li> <li>Sala de aula</li> </ul>

**IX. Avaliação:**

Avaliação fica a critério da professora;

**- Atividades**

Atividade realizada junto a pesquisa na web;

Produção de Mapa Conceitual -Tema: Supercondutividade;

**- Critérios adotados para correção das atividades.**

Os critérios para as correções das atividades estarão sob julgamento da professora deste plano de aula;

**Bibliografia:**

Artigos científicos:

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais no Ensino da Física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, n. 3, p. 37, 1992. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n3\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n3_moreira.pdf)>.

VIEIRA, D. M. Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio. p. 152, 2014. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_8057\\_David\\_Menegassi-V2.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8057_David_Menegassi-V2.pdf)>.

Web:

<http://www.infoescola.com/fisica> <http://www.brasilecola.uol.com.br/fisica>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Diamagnetismo>

Livros Didáticos:

Livro Texto adotado pela Instituição de Ensino.

Vídeos:

Supercondutividade: <http://www.youtube.com/watch?v=kknED0CaphE>

“Levitação Magnética em Pastilha Supercondutora” <http://www.youtube.com/watch?v=rIGHjQKpaB0>

### Roteiro básico para Plano de Aula – Mapas Conceituais

<p><b>I. Plano de Aula:</b> Mapas Conceituais Data:</p>
<p><b>II. Dados de Identificação:</b> Instituição: Professor (a): Professor (a) estagiário (a): Disciplina: Período: Turma:</p>
<p><b>III. Tema:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A utilização dos mapas conceituais em Sala de Aula</li> </ul>
<p><b>IV. Conhecimentos Prévios:</b> Sem conhecimentos prévios iniciais;</p>
<p><b>V. Objetivos:</b></p> <p><b>Objetivo geral:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer os mapas conceituais como ferramenta de aprendizagem;</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensinar ao estudante a usar mapas conceituais;</li> <li>• Visualizar alguns modelos de mapas conceituais em diversas áreas do conhecimento;</li> <li>• Aplicar a ferramenta em sala de aula;</li> </ul>
<p><b>VI. Conteúdo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapas conceituais;</li> </ul>
<p><b>VII. Desenvolvimento do tema:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Apresentação dos mapas conceituais e exemplos;</li> <li>2) Discussão do uso dos mapas conceituais;</li> <li>3) Atividade: Produzir um mapa conceitual a partir do tema ESCOLA;</li> </ol>
<p><b>VIII. Recursos didáticos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Projetor Digital;</li> <li>2) Computador;</li> <li>3) Sala de aula;</li> <li>4) Folhas a4;</li> <li>5) Google formulário.</li> </ol>
<p><b>IX. Avaliação:</b> Avaliação a critérios do professor aplicador deste plano de aula;</p> <p><b>- Atividades</b> Produção de Mapa Conceitual – Tema: Escola;</p> <p><b>- Critérios adotados para correção das atividades.</b> Critério para correção de atividades sob julgamento da professora;</p>
<p><b>X. Bibliografia:</b> Web: “Levitação Magnética em Pastilha Supercondutora” <a href="http://www.youtube.com/watch?v=rIGHjQKpaB0">http://www.youtube.com/watch?v=rIGHjQKpaB0</a> Ausubel, D.P. (2003). Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspetiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução de The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view. (2000). Kluwer Academic Publishers.</p>

Novak, J.D. e Gowin, D.B. (1996). Aprender a aprender. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução de Learning how to learn. (1984). Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.

Livro Texto adotado pela Instituição de Ensino.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais no Ensino da Física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, n. 3, p. 37, 1992. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n3\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n3_moreira.pdf)>.

VIEIRA, D. M. Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio. p. 152, 2014. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_8057\\_David Menegassi-V2.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8057_David Menegassi-V2.pdf)>.

Web:

<http://www.infoescola.com/fisica> <http://www.brasilecola.uol.com.br/fisica>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Diamagnetismo>

Livros Didáticos:

Livro Texto adotado pela Instituição de Ensino.

Vídeos:

Supercondutividade: <http://www.youtube.com/watch?v=kknED0CaphE>

Vídeos:

Mapas Conceituais - [http://www.youtube.com/watch?v=9W\\_lo8-TszI](http://www.youtube.com/watch?v=9W_lo8-TszI)

### Roteiro básico para Plano de Aula – Indução Eletromagnética

<p><b>I. Plano de Aula:</b> Indução Eletromagnética – Lei de Faraday e Lenz Data:</p>
<p><b>II. Dados de Identificação:</b>  Instituição:  Professor (a):  Professor (a) estagiário (a):  Disciplina:  Período:  Turma:</p>
<p><b>III. Tema:</b>  Indução Eletromagnética: Leis de Faraday e Lenz</p>
<p><b>IV. Conhecimentos Prévios:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrente Elétrica;</li> <li>• Condutores</li> <li>• Campo Magnético;</li> <li>• Imas;</li> </ul>
<p><b>V. Objetivos:</b></p> <p><b>Objetivo geral:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreender o fenômeno da indução eletromagnética (Leis de Faraday e Lenz) onde o fluxo magnético variável numa espira ou solenoide pode produzir corrente elétrica no circuito.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Constatar que um campo magnético variável pode produzir uma corrente elétrica num circuito através de um solenoide ou espira;</li> <li>• Definir as Leis de Faraday e Lenz;</li> <li>• Identificar aparelhos eletroeletrônicos que usam os princípios de Faraday e Lenz para funcionarem;</li> </ul>
<p><b>VI. Conteúdo:</b> Indução Eletromagnética</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxo Magnético;</li> <li>• Lei de Faraday;</li> <li>• Lei de Lenz;</li> </ul>
<p><b>VII. Desenvolvimento do tema:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Apresentação do vídeo telecurso 2000 (15 min):  Apresentar o vídeo do telecurso marcando os pontos que se referem a lei de Faraday e Lenz;</li> <li>2) Mostrar experimento para a turma:  Utilizar do experimento de indução (Indutor), mostrando aos alunos que o fluxo magnético variável é capaz de produzir corrente elétrica no circuito acendendo a lâmpada.</li> <li>3) Usar a simulação em java:  Mostrar aos alunos que o fluxo magnético variável é capaz de produzir corrente elétrica no circuito acendendo a lâmpada, ver guia Solenoide e gerador da simulação.</li> </ol>
<p><b>VIII. Recursos didáticos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7) Projetor Digital;  Computador com suporte a linguagem java; Caixa acústica;</li> <li>8) Atividade Experimental: Indutor</li> <li>9) Sala de Aula;</li> </ol>
<p><b>IX. Avaliação:</b>  Avaliação sob os critérios da professora deste plano de aula;</p>



**- Atividades**

Atividade Resumo;  
Exercícios de Indução Eletromagnética;  
Produção de Mapa Conceitual – Tema: Indução Eletromagnética;

**- Critérios adotados para correção das atividades.**

Critério para correção de atividades sob julgamento do professor aplicador deste plano de aula;

**X. Bibliografia:**

Artigos científicos:

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais no Ensino da Física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, n. 3, p. 37, 1992. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n3\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n3_moreira.pdf)>.

VIEIRA, D. M. Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio. p. 152, 2014. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_8057\\_David\\_Menegassi-V2.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8057_David_Menegassi-V2.pdf)>.

Livros Didáticos:

Livro Texto adotado pela Instituição de Ensino.

Web:

<http://www.brasilecola.com/fisica/fluxo-magnetico-lei-faraday.htm> <http://www.brasilecola.com/fisica/a-lei-lenz.htm>  
<http://www.infoescola.com/eletromagnetismo/lei-de-lenz/>

Livros Didáticos:

Livro Texto adotado pela Instituição de Ensino.

Vídeos:

Supercondutividade: <http://www.youtube.com/watch?v=kknED0CaphE>

“Levitação Magnética em Pastilha Supercondutora” <http://www.youtube.com/watch?v=rIGHjQKpaB0>

Experimento:

Indutor disponível Lab. de Instrumentação de Ensino de Física Ufes.

Vídeo:

Telecurso 2000 (15min) – Indução Eletromagnética - [http://www.youtube.com/watch?v=-uwaK5\\_kGB8](http://www.youtube.com/watch?v=-uwaK5_kGB8)  
Telecurso2000 Aula 46 50 Indução Eletromagnética

Simulação:

Laboratório de eletromagnetismo de Faraday - [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/faraday](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/faraday)