

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**FLAVIO FESTA**

**PROPOSTA DIDÁTICA PARA DESENVOLVER O TEMA DA  
SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Porto Alegre

2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**Flavio Festa**

**PROPOSTA DIDÁTICA PARA DESENVOLVER O TEMA DA  
SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Mestrado Profissional realizado sob a orientação da Professora Dra. Neusa Teresinha Massoni e coorientação do Professor Dr. Paulo Pureur Neto, apresentado ao programa de Pós-Graduação<sup>1</sup> em Ensino de Física da UFRGS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2015

---

<sup>1</sup>Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico especial agradecimento à professora Dra. Neusa Teresinha Massoni, minha orientadora, pela disposição, paciência, dedicação e conselhos prestados durante a construção deste trabalho.

Ao Professor Dr. Paulo Pureur Neto, meu coorientador, pelas contribuições, ensinamentos e ideias compartilhadas.

À equipe de professores pelos ensinamentos, apoio e conhecimentos transmitidos durante as aulas.

Aos colegas de Mestrado pelo convívio e experiências compartilhadas.

Ao Colégio São Luiz Gonzaga pelo espaço oportunizado ao desenvolvimento prático deste trabalho.

Aos meus alunos que colaboraram para a concretização e o sucesso das aulas.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de formação.

À CAPES por todo o auxílio financeiro prestado.

A toda a minha família que me apoiou e ajudou na realização e concretização deste Mestrado Profissional.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. ESTUDOS RELACIONADOS.....	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
4. A PROPOSTA .....	25
5. METODOLOGIA .....	28
6. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA .....	35
Aula 1.1 – Turma 301 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Motivação ao Estudo da Supercondutividade .....	35
Aula 1.2 – Turma 302 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Motivação ao Estudo da Supercondutividade .....	39
Aula 1.3 – Turma 303 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Motivação ao Estudo da Supercondutividade .....	41
Aula 2.1 – Turma 302 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Resistividade Elétrica .....	42
Aula 2.2 – Turma 301 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Resistividade Elétrica .....	44
Aula 2.3 – Turma 303 (06/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Resistividade Elétrica .....	45
Aula 3.1 – Turma 303 (06/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica .....	46
Aula 3.2 – Turma 301 (06/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica .....	49
Aula 3.3 – Turma 302 (07/11/2014, sexta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica .....	51
Aula 4.1 – Turma 301 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Indução Eletromagnética e Diamagnetismo .....	54
Aula 4.2 – Turma 302 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Indução Eletromagnética e Diamagnetismo .....	58
Aula 4.3 – Turma 303 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Indução Eletromagnética e Diamagnetismo .....	61
Aula 5.1 – Turma 302 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Efeito Meissner.....	63
Aula 5.2 – Turma 301 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Efeito Meissner.....	71
Aula 5.3 – Turma 303 (13/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Efeito Meissner.....	74

Aula 6.1 – Turma 303 (13/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Campo Magnético Crítico .....	76
Aula 6.2 – Turma 301 (13/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Campo Magnético Crítico .....	78
Aula 6.3 – Turma 302 (14/11/2014, sexta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Campo Magnético Crítico .....	80
Aula 7.1 – Turma 301 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Interpretação Microscópica: Pares de Cooper .....	81
Aula 7.2 – Turma 302 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Interpretação Microscópica: Pares de Cooper .....	84
Aula 7.3 – Turma 303 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Interpretação Microscópica: Pares de Cooper .....	86
Aula 8.1 – Turma 302 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 1.....	88
Aula 8.2 – Turma 301 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 1.....	90
Aula 8.3 – Turma 303 (20/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade–parte1..	91
Aula 9.1 – Turma 303 (20/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 2.....	92
Aula 9.2 – Turma 301 (20/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 2.....	93
Aula 9.3 – Turma 302 (21/11/2014, sexta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 2.....	94
Aula 10.1 – Turma 301 (26/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Avaliação Final – PROVA “Supercondutividade” .....	95
Aula 10.2 – Turma 302 (26/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Avaliação Final – PROVA “Supercondutividade” .....	96
Aula 10.3 – Turma 303 (26/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Avaliação Final – PROVA “Supercondutividade” .....	96
7. RESULTADOS .....	99
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	107
REFERÊNCIAS .....	110
APÊNDICE A: Apresentação Aula 1 – Introdução à Supercondutividade .....	116
APÊNDICE B: Texto de apoio – Aula 2 .....	118
APÊNDICE C: Gráficos trabalhados na aula 3.....	122
APÊNDICE D: Texto de apoio – Aula 3.....	123
APÊNDICE E: Gráficos trabalhados na aula 6 .....	125
APÊNDICE F: Trabalho Avaliativo – Aula 6 .....	126
APÊNDICE G: Apresentação Aula 5 – Condutor Perfeito x Supercondutor.....	127

APÊNDICE H: Texto de apoio – Aula 7.....	130
APÊNDICE I: <i>WebQuest</i> Aulas 8 e 9 .....	132
APÊNDICE J: Gabarito da Prova Final – Aula 10 .....	133
APÊNDICE L: Produto Educacional .....	134
ANEXO A – Autorização para a prática das aulas.....	174

## RESUMO

Este trabalho é a narrativa de uma experiência didática de aplicação de um módulo que integrou o tópico de Supercondutividade no Ensino Médio regular de uma escola pública situada na cidade de Veranópolis, RS, sob o referencial teórico da Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. Descrevem-se em detalhe as situações-problema e os recursos selecionados e utilizados, bem como a sequência de como o tema foi abordado no ensino regular, com turmas de terceiro ano.

A forma como o módulo foi pensado e o nível de profundidade que foi possível alcançar aparecem ao longo do texto, que também oferece uma revisão da literatura em que a relevância da inclusão da Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio é discutida.

O resultado indica que é possível trabalhar assuntos de Física Moderna e Contemporânea no ensino regular, que os alunos apreciam e mostram disposição para aprender assuntos atuais e que o esforço para introduzir pequenas atualizações curriculares é válido e precisa ser incentivado como uma das possíveis alternativas para se alcançar a melhoria de qualidade na Educação Básica.

Ao final, um produto educacional em formato de texto de apoio, orientação e motivação aos professores de Física é apresentado.

**Palavras chave:** ensino médio, atualização curricular, Supercondutividade.

## ABSTRACT

This work is a narrative of an application teaching experience that composed the topic of Superconductivity in a Public High School located in Veranópolis city, RS, with the theoretical reference of the Conceptual Fields Theory from Gérard Vergnaud. The problem situations and the selected used resources are detailed described, as well the sequence like it was seen with high school third year students. The way the module was thought and the possible intensity level are throughout the text, which also offers a literature review where there are discussions about the relevance of the Modern and contemporary Physics inclusion in High School curriculum.

The result indicates that it is possible to develop Modern and contemporary Physics issues in High School, because the students enjoy and cheer learning current topics, and that the effort to insert small curriculum changes is valid and needs to be encouraged as one possible solution to achieve the Basic Education quality improvement.

At the end, it is presented an educational product as a supporting text, orientation and motivation to Physics' teachers.

**Keywords:** high school, curriculum update, Superconductivity.

## 1. INTRODUÇÃO

É de domínio público que o ensino praticado nas escolas vive, há vários anos, uma crise gerada por inúmeros fatores, que comprometem tanto a qualidade do ensino como a própria formação dos professores, dentre eles, o lento acompanhamento das escolas às profundas e rápidas transformações que se processam nas sociedades, fruto, em grande medida, das relações e uso das tecnologias, que desfazem fronteiras geográficas e, ao mesmo tempo, desnudam abismos entre grupos sociais (BAZZO; PEREIRA; LINSINGEN, 2008. p.16).

Além disso, questionamentos e dúvidas, cada vez mais contundentes, têm sido levantadas sobre a eficácia de técnicas e estratégias de ensino e do próprio conteúdo tradicionalmente adotados na educação em nosso país. Essas questões têm sido objeto de estudos e pesquisas há algumas décadas, com resultados que ou não chegam à sala de aula ou não atacam o âmago da complexa problemática, permitindo que a educação, especialmente a praticada em estabelecimentos públicos, atinja patamares de qualidade desconcertantes.

Por sua vez, os professores, que se encontram no centro dessa discussão, têm dificuldades em promover ensino adequado às condições da sociedade atual, não conseguem mudar a inércia dos ambientes escolares, além de, particularmente no ensino de ciências, enfrentarem o desinteresse dos alunos pela aprendizagem da Física, a falta de laboratórios, de bibliotecas e de aspectos outros associados à infraestrutura, como citado, especialmente na rede pública.

De maneira geral, a escola como está organizada hoje não consegue cumprir seu papel de oferecer um ensino de qualidade, como preconizado por documentos oficiais, por exemplo, os PCN e PCN+ (BRASIL, 1999; BRASIL, 2002), visando formar cidadãos críticos e participativos e, de outro lado, capaz de fazer com que os jovens dominem os conteúdos e os princípios científicos básicos para fazer frente às situações do cotidiano. Por exemplo, compreender minimamente as tecnologias ou questões associadas à produção sustentável, que permeiam a vida moderna.

Nesse sentido, os professores da Educação Básica, em especial os professores de Física, são permanentemente desafiados a inovar, tentando despertar o interesse e a curiosidade dos alunos pela ciência, para que adquiram uma cultura científica capaz de superar o analfabetismo científico e possam construir uma autonomia intelectual que tenha consequências positivas em nível individual, mas também gere mudanças sociais, políticas, culturais e econômicas.

Neste aspecto, os professores precisam atualizar-se tanto do ponto de vista intelectual/disciplinar e didático quanto em relação à capacidade de planejamento, preparação, aquisição e uso de material instrucional atraente e de boa qualidade, para atender a essa demanda escolar e social. Saber o conteúdo, estar atualizado com os avanços das ciências, refletir suas práticas, integrar conteúdos novos, dominar ferramentas tecnológicas de informação e comunicação, ter noções contemporâneas sobre o processo de produção e evolução do conhecimento, conhecer tendências teóricas e didáticas parecem estar no horizonte das habilidades que se espera de um professor em nossos dias.

Os documentos oficiais reconhecem essa necessidade, embora se possa questionar se, de fato, as políticas públicas têm conseguido subsidiar os professores. As Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2012), por exemplo, assumem a *pesquisa* como princípio pedagógico no sentido de que a escola precisa acompanhar o desenvolvimento acelerado de conhecimentos construídos pelas ciências, com o intuito de socializá-los.

A produção acelerada de conhecimentos, característica deste novo século, traz para as escolas o desafio de fazer com que esses novos conhecimentos sejam socializados de modo a promover a elevação do nível geral de educação da população (BRASIL, 2012, p. 21).

A pesquisa como princípio pedagógico deve ser orientada e motivada pelos professores que são os verdadeiros mediadores ou facilitadores da aquisição de conhecimentos, na medida em que a escola deixa de ser o único centro de “geração de informação”.

Essas novas exigências requerem um novo comportamento dos professores que devem deixar de serem transmissores de conhecimentos para serem mediadores, facilitadores da aquisição de conhecimentos; devem estimular a realização de pesquisas, a produção de conhecimentos e o trabalho em

grupo. Essa transformação necessária pode ser traduzida pela adoção da pesquisa como princípio pedagógico (BRASIL, 2012, p. 22).

Impõe-se, assim, o desafio de transformar informação, que hoje está facilmente disponível aos alunos, especialmente nas tecnologias de informação e comunicação, internet etc., em conhecimento.

Como se discutiu, existem inúmeras variáveis envolvidas naquilo que se poderia chamar de educação de qualidade, reconhecendo aqui a polissemia deste conceito. Contudo, pode-se considerar que uma condição fundamental para que a escola consiga cumprir seu importante papel é a necessidade de rever e atualizar continuamente o currículo das disciplinas científicas que, como já dito, avançam rapidamente.

No caso da disciplina de Física, que é objeto deste trabalho de mestrado, assume-se que é indispensável incorporar a Física Moderna e Contemporânea no rol de conteúdos a serem abordados no Ensino Médio. Além disso, sua integração precisa ocorrer ao longo do ensino regular e não como um tópico ao final do curso. Este aspecto também tem respaldo nos Parâmetros Curriculares Nacionais:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e *lasers* presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores (BRASIL, 2002, p. 70).

A literatura da área é rica em trabalhos nessa linha. Loch e Garcia (2009), por exemplo, afirmam que:

No caso particular da Física, a atualização curricular tem levado a um movimento crescente de propor a inserção de conteúdos referentes à Física do século XX e início desse século, conhecidos como Física Moderna e Contemporânea. Uma das razões desse movimento é a interpretação de que esses conteúdos podem possibilitar aos estudantes uma leitura do mundo atual, o que torna esses conteúdos mais significativos aos olhos deles, permitindo ainda, mostrar aos estudantes a ciência como construção humana, que não está pronta e acabada, mas que é provisória e não neutra (*ibid.*, p.2).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo propor e implementar, pelo menos em parte, essa orientação, trabalhando um tema de Física Contemporânea, a

Supercondutividade, como um tópico viável de ser abordado no Ensino Médio e, em especial, atuando como um tema instigante e motivador para os alunos, atraindo-os para o estudo da Física, dado que:

Uma descrição das aplicações da supercondutividade pode motivar os alunos no estudo de diversas partes da Física associadas com as propriedades físicas mais relevantes dos supercondutores, em particular nos seus estudos de Termodinâmica, de Eletricidade e de Magnetismo (LUIZ; SANTOS, 2005, p.1).

Nesse contexto, considera-se instrutivo também discutir a enorme aplicabilidade do fenômeno:

As aplicações tecnológicas da supercondutividade são variadas: construção de bobinas com fios supercondutores que possibilitam gerar campos magnéticos intensos, os quais seriam impraticáveis se fossem utilizados fios comuns, como por exemplo o cobre. Essas bobinas podem ser usadas na construção de *MagLevs* (trens que levitam), aparelhos de ressonância magnética em hospitais (geram um campo magnético homogêneo na região onde o paciente é colocado e um sensor capta informações que formarão as imagens), toróides de supercondutores para armazenar energia nos campos magnéticos (funcionam como *nobreak* de alta capacidade, para uma cidade ou grande indústria), entre outras aplicações (MASSONI, 2009, p. 242).

Entende-se que a Supercondutividade, suas propriedades e aplicações formam um verdadeiro campo conceitual na acepção de Vergnaud (VERGNAUD, 1990 *apud* MOREIRA, 2002). Esse campo é o que se pretende explorar objetivando operacionalizar e aproximar conteúdos que tradicionalmente estão ausentes da escola. Objetiva-se também incentivar e encorajar os professores de Física a promoverem a abordagem da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Como suporte a essa temática, desenvolveu-se uma sequência de dez aulas utilizando recursos variados, como textos, vídeos, demonstrações, slides e *WebQuest*, com passos e alguns materiais que visam facilitar e inspirar o Professor de Física que pretende levar esse tema para a sua sala de aula, constituindo, assim, o produto final deste trabalho, um produto educacional didático. Uma narrativa da aplicação dessa sequência é feita aqui, nos capítulos que seguem.

## 2. ESTUDOS RELACIONADOS

O esforço no sentido de incentivar a abordagem da Supercondutividade no Ensino Médio não é recente. Por exemplo, Ostermann; Ferreira e Cavalcanti (1997) apresentam um texto voltado aos professores visando oferecer subsídios à implementação de uma proposta de ensino de Supercondutividade. Esses autores, em seu artigo, afirmam que:

Existe consenso, em nível nacional e internacional, quanto à necessidade de introduzir, já no ensino médio, conteúdos de Física Contemporânea no currículo. No entanto, a Física ensinada nas escolas avança, no máximo, até o início do nosso século. (OSTERMANN, FERREIRA, CAVALCANTI, 1997, p. 270).

No sentido de introduzir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, o trabalho de Siqueira (2012) defende fortemente a reformulação curricular, argumentando que a escola precisa se adequar aos tempos modernos, contemplando e acompanhando o desenvolvimento científico e tecnológico que tem se inserido na sociedade atual. Ele enfatiza que essa mudança provocará uma melhoria na aprendizagem dos estudantes, contribuirá para a sua formação crítica e discutirá temas mais atuais e relevantes para a sociedade. Esse autor explica que:

No aspecto da atualização dos conteúdos, uma das possibilidades é a reformulação curricular a partir da inserção de conceitos da Ciência Moderna, principalmente aqueles relacionados à Física Moderna e Contemporânea (FMC), que, dentre outras coisas, são responsáveis pelos avanços científicos, tecnológicos e até mesmo sociais... (SIQUEIRA, 2012, p. 17).

Na visão desse autor, uma das dificuldades para implementar uma mudança curricular diz respeito às crenças, atitudes e concepções que os professores possuem sobre o ensino e aprendizagem, que foram adquiridas ao longo da sua vida profissional, pessoal e social (TARDIF, 2002 *apud* SIQUEIRA, 2012, p. 18) e que podem gerar obstáculos à inovação didática. Outra dificuldade diz respeito à preparação insuficiente que os professores, muitas vezes, demonstram quanto aos conteúdos.

Kawamura e Hosoume (2003) alertam que há necessariamente uma “transposição didática” entre a Física dos físicos e aquela que chega à sala de aula. Defendem que os critérios para a escolha dos conteúdos a serem trabalhados no Ensino Médio deveriam ter como foco o que é fundamental para que um jovem possa participar solidariamente em um mundo complexo e em pleno desenvolvimento tecnológico, e não considerar o que um futuro profissional precisará saber para sua formação universitária (*ibid.*, p. 12).

A abordagem de aspectos históricos capaz de contribuir na formação de uma visão de que a Física é uma ciência em construção é importante e formativo para os alunos. Essa visão se alinha ao que é indicado pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, que referem:

(...) é necessário favorecer o desenvolvimento de posturas reflexiva e investigativa, de não-aceitação, a priori, de ideias e informações, assim como a percepção dos limites das explicações inclusive dos modelos científicos, colaborando para a construção da autonomia de pensamento e de ação. (BRASIL, 1999, Ciências Naturais, p. 23).

Uma proposta conceitual e didática sobre a “descoberta”<sup>2</sup> da Supercondutividade a 39 K aparece em Branício (2001), que também se preocupa com uma abordagem histórica sobre as origens da supercondutividade, das teorias que buscaram explicá-la e com as principais aplicações desse extraordinário fenômeno. Segundo esse autor:

Os estudos iniciais do  $MgB_2$  indicam que o material tem grande chance de se tornar o supercondutor preferido para aplicações, substituindo as até agora preferidas ligas de Nióbio. Assim, magnetos de alto campo, usados em máquinas de ressonância magnética, trens *MAGLEVs* etc.; cabos de transmissão; SMES e várias outras aplicações poderão ter seu custo reduzido com o uso do  $MgB_2$ . Talvez em alguns anos um exame de ressonância magnética, por exemplo, saia pela metade do preço com o uso do  $MgB_2$  em vez das ligas de Nióbio (BRANÍCIO, 2001, p.389).

Há uma riqueza de propostas e materiais pedagógicos para o ensino de diversos temas da Física disponíveis na literatura e em *sites* da internet. Por

---

<sup>2</sup> Neste texto “descoberta” não tem o sentido de desvelar (fatos ou leis físicas), e sim de indicar que uma nova propriedade física – no caso a Supercondutividade – foi observada e passou a ser estudada.

exemplo, o Portal do Professor<sup>3</sup> no MEC, oferece dezenas de trabalhos sobre semicondutores e outros tópicos da Física Moderna e Contemporânea como: efeito fotoelétrico, raios X, espalhamento, experimento de Millikan, espectroscopia, luz e cor, relatividade, física quântica, teoria do caos, radioatividade, laser, dualidade onda-partícula etc. Entretanto, não encontramos nenhum trabalho diretamente relacionado com a Supercondutividade nessa fonte.

Foi também efetuada uma pesquisa em alguns dos livros didáticos sugeridos pelo MEC, através do Programa Nacional do Livro Didático – PNLD, para serem adotados no ensino de Física de nível médio, a partir de 2015. Foram consultados oito (8) livros e dentre esses, em apenas dois (2) a Supercondutividade é abordada. São eles:

- “Física para Ensino Médio”, dos autores Kazuhito Yamamoto e Luz Felipe Fuke, v. 3 (2010). Neste livro a Supercondutividade é apontada como uma curiosidade durante o estudo da Lei de Ohm, dedicando ao tema apenas meia página.
- “Física”, de Alysson Ramos Artuso e Marlon Wrublewski, v. 3 (2013). Neste livro houve uma maior preocupação em desenvolver o tema ao longo de quatro páginas, em uma seção destinada à Física Moderna e Contemporânea.

Outros seis (6) livros pesquisados, relacionados na sequência, não trazem nenhuma menção ao fenômeno da Supercondutividade, embora todos eles apresentem uma seção de Física Moderna e Contemporânea abordando temas diversos:

- “Coleção Física em Contextos”, dos autores Maurício Pietrocola; Alexander Pogibin; Renata de Andrade e Talita Raquel Romero; v. 3 (2010).
- “Curso de Física”, dos autores Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga; v. 3 (2011).
- “Coleção Quanta Física”, dos autores Carlos A. Kantor; Lilio A. Paoliello Jr.; Luiz Carlos de Menezes; Marcelo de C. Bonetti; Osvaldo Canto Jr. E Viviane M. Alves; v. 3 (2010).

---

<sup>3</sup> Portal do Professor: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/buscaGeral.html?q=semicondutores>, acesso em 24/01/2014.

- “*Ser Protagonista Física*”, Obra coletiva, Edições SM Ltda., v. 3 (2013).
- “Física 3”, dos autores Osvaldo Guimarães; José Roberto Piqueira e Wilson Carron; v. 3 (2014).
- “Física Aula por Aula”, de Benigno Barreto Filho e Claudio Xavier da Silva; v. 3 (2013).

Em outras fontes, encontramos trabalhos interessantes nessa área, podendo servir como material instrucional ao professor interessado em levar o tema para as suas aulas. Seguem abaixo alguns destes trabalhos:

- Trabalho desenvolvido por alunos de graduação em Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina voltado ao professor do Ensino Médio. Nesse trabalho, o tema da Supercondutividade é abordado de forma bastante inteligível ao professor leigo no assunto. Seu foco está no Efeito Meissner e algumas aplicações. Possui diversas sugestões de sítios *web* que o professor pode consultar<sup>4</sup>.
- Material hipermídia<sup>5</sup> desenvolvido como produto do Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o objetivo de ser material instrucional de apoio para o professor que deseja trabalhar a Supercondutividade em suas aulas. Esse material rico em informações trata o tema supercondutividade de forma ampla e bem desenvolvida. Não apresenta ligações para outros sítios<sup>6</sup>.
- Blog de divulgação científica especializado em supercondutividade, extremamente rico em material de divulgação e instrução<sup>7</sup>.
- Há um roteiro intitulado “Roteiro para a Experiência de Levitação de um Ímã repellido por um Supercondutor no Ensino de Física” de autoria de Fábio

---

<sup>4</sup> Disponível no endereço: [http://www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/64\\_efeito\\_meissner/index.html](http://www.ced.ufsc.br/men5185/trabalhos/64_efeito_meissner/index.html).

<sup>5</sup> Material desenvolvido por Carla Beatriz Spohr durante seu Mestrado Profissional em Ensino de Física, no ano de 2008.

<sup>6</sup> Pode ser acessado em: [http://www.if.ufrgs.br/ensfis\\_fernanda/arquivos/materiais/supercondutividade/](http://www.if.ufrgs.br/ensfis_fernanda/arquivos/materiais/supercondutividade/)

<sup>7</sup> Disponível em: <http://supercondutividade.blogspot.com.br/2012/12/textos-em-portugues.html>.

Saraiva da Rocha e Henrique Aita Fraquelli, datado de 2004, que orienta o professor na realização de um experimento interessante<sup>8</sup>.

- O trabalho de Adyr Moysés Luiz e Wilma Machado Soares Santos, intitulado *A Supercondutividade e suas aplicações: um tema para aulas de Física Moderna no Ensino Médio* compõe, como citado em sua introdução, um texto sobre supercondutividade destinado a professores do Ensino Médio e alunos de Física interessados em tópicos de Física Moderna, tendo como principal alvo os alunos de Licenciatura em Física. É um texto auxiliar que busca elucidar o tema para ser trabalhado no Ensino Médio, de acordo às orientações dos PCN, do MEC. Esse trabalho traz a descrição de um grande número de aplicações da Supercondutividade no mundo dos transportes, da energia, da eletrônica, da medicina, e em outros campos da ciência e da tecnologia. Descreve também experiências que podem ser realizadas em sala de aula<sup>9</sup>.
- Outro trabalho localizado traz como título: *O uso de Mapas Conceituais no Ensino de Física Moderna e Contemporânea*. Este trabalho faz parte de um curso ofertado aos professores de Física do município de Ponta Grossa (PR), com o objetivo de fornecer condições instrumentais à abordagem de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Dentre os conceitos abordados, os conceitos do Eletromagnetismo foram estudados por meio de um mapa conceitual sobre a Supercondutividade. O trabalho permitiu verificar que o fenômeno da supercondutividade pode ser empregado no Ensino Médio como tema gerador no estudo do eletromagnetismo<sup>10</sup>.
- Destaca-se também o estudo de David Menegassi Vieira, *Supercondutividade: uma proposta de inserção no Ensino Médio*. Este trabalho traz uma sequência didática como alternativa para inserir e manter

---

<sup>8</sup> Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v26n1/a02v26n1.pdf>, acessado em 27 de Julho de 2014.

<sup>9</sup> Ver em [http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=snef&cod=\\_asupercondutividadesuas](http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=snef&cod=_asupercondutividadesuas), acessado em 22 de Julho de 2014.

<sup>10</sup> Este trabalho encontra-se disponível em: <http://sites.uepg.br/conex/anais/artigos/414-1662-1-RV-mod.pdf>, acessado em 20 de agosto de 2014.

tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. A proposta também faz uso de mapas conceituais para o desenvolvimento das atividades em sala de aula<sup>11</sup>.

Concluimos em nossa revisão que esses trabalhos são excelentes ferramentas e fontes de informação tanto para o Professor quanto para o aluno, necessitando, entretanto, de maior oferta de atividades pedagógicas, razão pela qual entendemos que é importante investir em um produto educacional nessa linha.

Foram também localizados trabalhos referentes a atividades e projetos desenvolvidos pelas escolas e por professores para alunos do ensino médio:

- A Escola de Verão de Física da Universidade do Porto desenvolve projetos sob a supervisão de jovens investigadores. São projetos de divulgação científica voltados exclusivamente à disciplina de Física. Em suas diferentes edições, a Supercondutividade é tema de projeto. Os alunos, em grupo de cinco integrantes, são incentivados a desenvolver os conceitos básicos da Supercondutividade, fazendo experimentos no laboratório. É uma atividade que divulga e destaca a importância deste fenômeno para a ciência e desperta no aluno o interesse pela investigação e criação de novas tecnologias<sup>12</sup>.
- Outro projeto é o do Laboratório de Supercondutividade na unidade universitária em Bento Gonçalves, que envolveu a participação de alunas do ensino médio do Colégio Regina Coeli, de Veranópolis. O projeto Laboratório de Supercondutividade tem como principal objetivo utilizar o poder de encantamento dos supercondutores para incentivar meninas do Ensino Médio a se interessarem por uma carreira em engenharia ou ciências básicas<sup>13</sup>.

De maneira geral, a literatura na área é consensual ao apontar que o ensino de Física no nível médio não tem acompanhado os avanços tecnológicos ocorridos

---

<sup>11</sup> Está disponível em: [http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_8057\\_David%20Menegassi-V2.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8057_David%20Menegassi-V2.pdf), acessado em 20 de agosto de 2014.

<sup>12</sup> Estes projetos estão disponíveis em: <http://e-fisica.fc.up.pt/edicoes/3a-edicao/projectos/supercondutividade>, acessado em 30 de agosto de 2014.

<sup>13</sup> A reportagem está disponível em: [www.uces.br/site/ucs/noticias/1417724048](http://www.uces.br/site/ucs/noticias/1417724048), acessado em 24 de outubro de 2014.

nas duas últimas décadas, praticando um currículo obsoleto, desatualizado e descontextualizado, o que representa um problema tanto para os professores quanto para os estudantes, além de tornar a prática pedagógica monótona e desinteressante para todos os envolvidos (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

O trabalho de Siqueira, que compôs uma experiência com seis professores de Física da rede pública do Estado de São Paulo visando à inserção da Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio, mostrou que é possível alcançar bons resultados na implementação destes temas em sala de aula.

O presente trabalho insere-se na perspectiva, muito presente na literatura, de buscar desenvolver novas estratégias e incentivar o diálogo nas aulas de Física e, especialmente, de operacionalizar a inserção de um tópico de Física Moderna e Contemporânea - a Supercondutividade - no currículo do Ensino Médio.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento deste trabalho e elaboração das estratégias didáticas estivemos embasados na Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. Na visão desse autor, o conhecimento está organizado em *campos conceituais*. *Campo conceitual é, para ele, um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros* (VERGNAUD, 1982, *apud* MOREIRA, 2002, p. 2) cujo domínio requer uma variedade de conceitos, procedimentos e representações simbólicas, entrelaçados durante o processo de aquisição.

A aprendizagem acontece quando o sujeito interage com as situações no intuito de resolvê-las, pondo em ação seus esquemas. Nesse processo, ele necessita aplicar os conceitos conhecidos e as relações existentes entre eles, reconhecendo-os na prática e percebendo os seus significados. É fundamental, contudo, para que o aprendiz seja capaz de se apropriar de um conceito (isto é, promova a *conceitualização*), que ele seja submetido a uma diversidade de situações que envolvam tal conceito para que se torne evidente seu significado e importância.

Vergnaud destaca que para compreender como o sujeito aprende é preciso observá-lo em ação, envolvendo-o em diferentes situações de aprendizagem, situações estas entendidas como tarefas. É nesses momentos que o sujeito trabalha os conceitos e constrói significados.

Nesse sentido, Vergnaud apoia-se nos seguintes argumentos para nos trazer a ideia de campos conceituais:

- um conceito não se forma dentro de um só tipo de situação;
- uma situação não se analisa com um só conceito;
- a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo longo e lento.

Na teoria dos campos conceituais, o ponto chave para o desenvolvimento cognitivo é a *conceitualização* do real, ou seja, a transposição do real, externo ao

sujeito, para o pensamento, interno ao sujeito. Nesse processo de conceitualizar, o aprendiz cria relações e representações e atribui significados que estão diretamente relacionados às **situações** concretas que está vivendo. E para conseguir generalizar e enriquecer o significado de um **conceito** é fundamental que experimente muitas outras situações nas quais ele (o conceito) é importante, isto é, situações em que ele pode ser empregado. Somente dessa forma é possível captar a essência do conceito e apropriar-se dele.

Trata-se de um processo longo, que progressivamente promoverá o desenvolvimento cognitivo do sujeito, não se dando, portanto, de um momento para outro.

A teoria dos campos conceituais supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização (1996a, p. 118). É ela a pedra angular da cognição (1998, p. 173). Logo, deve-se dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações para as quais os estudantes desenvolvem seus esquemas, na escola ou fora dela (1994, p. 58). (MOREIRA, 2002, p. 8).

Gérard Vergnaud prioriza assim o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem de competências complexas, entendidas como aquelas que dependem da ciência e da técnica. Ele crê que o domínio do conhecimento ocorre por meio do envolvimento da pessoa em várias situações que surgem no decorrer do tempo. Assim, para que ocorra a aprendizagem, é preciso que o aluno estabeleça ligações daquilo que está estudando com o que já conhece. Neste sentido, a compreensão de novos conceitos ocorre pelo entrelaçamento de conceitos construídos pelo aluno em diferentes situações de que tenha participado. Ocorre, dessa forma, uma interação entre o conhecimento já existente com o novo conhecimento.

Moreira define a Teoria dos Campos Conceituais como sendo “uma teoria psicológica que permite localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual” (MOREIRA, 2002, p.9).

Para aclarar um pouco a essência dessa teoria, passa-se a definir alguns conceitos-chave, do ponto de vista de Vergnaud.

## Conceito

Dado que a conceitualização é o processo determinante no desenvolvimento cognitivo, é importante compreender o significado que Vergnaud atribui ao **conceito**. Trata-se de um triplete: S - situações, I - invariantes operatórios e as R - representações simbólicas.

S - As situações pertencem ao mundo real e são responsáveis por dar sentido ao conceito; são os contextos nos quais o conceito encontra razão de existir. Um conceito torna-se significativo quando surge numa variedade de situações. O conjunto dessas situações é reconhecido como o referente do conceito. Constituem a principal entrada de um campo conceitual, conforme Moreira (2011).

I – Invariantes operatórios são o cerne dos conceitos, ou o seu significado propriamente dito (objetos, relações, condições, circunstâncias...). Representam aquilo que se preserva nos conceitos aplicados às diferentes situações e que permite que sejam reconhecidos como tais nas situações. Os invariantes operatórios são os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação.

R – Representações simbólicas são as formas de retratar as situações e os conceitos (seus significados). Podem ser gestuais, gráficas, etc. É identificado como o significante do conceito.

Krey e Moreira, (2009, p. 185) definem que *“o conceito pode ser considerado como um conjunto de invariantes utilizado na ação que também implica um conjunto de situações que constituem o referencial e um conjunto de esquemas posto em ação pelo sujeito nesta situação”*. Nesse ponto, um conceito tem sentido para o aluno quando este se envolve em situações e problemas a serem resolvidos. Entende-se, pois, que resulta necessário trabalhar junto ao aluno uma diversidade de situações e problemas que envolvam um determinado conceito, com a finalidade de proporcionar ao aluno o domínio do conjunto de conceitos que formam um campo conceitual.

Ainda Krey e Moreira (2009) referem que o domínio de um conceito é progressivo, fazendo parte deste as concepções alternativas que os alunos trazem consigo e que não são necessariamente científicas.

## Esquema

É um conjunto de regras e procedimentos que se estabelecem no sujeito, decorrentes de sua relação com as situações e as representações que delas faz. É o que determina o comportamento que o sujeito terá quando se vê diante duma situação. Nas palavras do próprio autor, “a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações” (MOREIRA, 2011).

Ainda com referência aos esquemas, de acordo com Moreira e Veit (2010):

Segundo ele [Vergnaud], é nos esquemas que se devem pesquisar os conhecimentos-em-ação do sujeito, isto é, os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória (*ibid.*, p. 58).

Entende-se assim, que o desenvolvimento cognitivo está intimamente relacionado com a formação e utilização dos esquemas por parte do indivíduo. De acordo com Krey e Moreira (2009; p.816), “*Os esquemas utilizados pelo indivíduo para resolver uma determinada situação é o que dá sentido a mesma, e o funcionamento cognitivo de um sujeito se baseia em seu repertório de esquemas disponíveis*”.

Vergnaud (1998 *apud* MOREIRA, 2002, p.12), afirma que “[...] *os esquemas necessariamente se referem a situações, a tal ponto que, dever-se-ia falar em interação esquema-situação*”.

Disso conclui-se que um processo de ensino bem sucedido será aquele capaz de interferir nos esquemas do sujeito reestruturando-os para levá-lo a assumir comportamentos desejados frente a uma classe de situações. Segundo Moreira (2011), a tarefa principal do professor, portanto, é o de prover situações frutíferas para o aluno, com as quais este seja capaz de desenvolver seu próprio repertório de esquemas e representações.

## Situações

Vergnaud (2003, *apud* Moreira, 2008, p. 18) ressalta que “a revolução didática consiste em propor situações que possibilitem o desenvolvimento de esquemas.”. Cabe ressaltar que para ele, são as situações que dão sentido a um determinado

conceito porque todos os processos cognitivos e as respostas que o aprendiz dá são funções das situações.

As situações são entendidas como sendo os problemas a que a pessoa se depara para resolver. O significado de situações, de acordo com Moreira (2002), é entendido como tarefa e não como situação didática, pois todo assunto complexo pode ser resolvido por meio de um conjunto de tarefas, sendo necessário o conhecimento de suas origens e entraves.

Nesse sentido, é importante destacar que as situações a serem propostas em sala de aula, precisam ser pensadas de modo a selecionar tarefas que levem os alunos à resolução de problemas.

### **Campo Conceitual**

Moreira (2002) destaca que, para Vergnaud, Campo Conceitual é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição.

Um campo conceitual possui uma dimensão complexa que não pode ser compreendida em algumas semanas, ou meses. Muitas vezes, demora anos e envolve o domínio progressivo, a incorporação de novas situações, novos problemas, novas propriedades e envolve o domínio de vários conceitos. Assim, somente pela experiência, maturidade e aprendizagem é que o aluno domina os campos conceituais.

Ainda de acordo com Moreira (2002), o campo conceitual é visto como um conjunto de muitas situações que requerem, por sua vez, o domínio de vários conceitos, procedimentos e representações de naturezas distintas. Dessa forma, requer estudos e observações que podem ocorrer não necessariamente na escola, mas também nos diferentes locais de convívio do aluno.

Assim, a Teoria de Vergnaud resultou em uma importante contribuição para a elaboração deste trabalho, pois forneceu pistas de como o sujeito internaliza e constrói o seu próprio conhecimento: através da interação de seus esquemas com as situações, de maneira que a preocupação com a seleção e programação de situações novas e motivadoras foi dominante na fase de preparação da unidade didática.

É muito importante sinalizar que a prática de ensino, segundo Vergnaud, deve se preocupar em prover aos alunos uma variada gama de situações. Corroboram com essa ideia Carvalho e Aguiar (2008), quando salientam que a Teoria dos Campos Conceituais:

Acreditamos que um dos pontos mais fortes da Teoria dos Campos Conceituais seja a preocupação que Vergnaud tem com o sujeito-em-situação. É essa característica que faz sua teoria ser muito útil no planejamento e na análise de situações de ensino em ciências naturais, uma vez que temos uma grande necessidade de acompanhar os alunos enquanto aprendem, procurando, nos conceitos e teoremas em ação, a evolução temporal de seu conhecimento (*ibid.*, p.225).

Não esperamos que os alunos em curto espaço de tempo – quatro semanas, no caso da aplicação da sequência utilizada no presente trabalho, tenham dominado o campo conceitual do tópico trabalhado, mas se acredita que as situações selecionadas e apresentadas em sala de aula possam ter ajudado a atribuir sentido aos conceitos e princípios associados à Supercondutividade, que os esquemas (dos alunos) tenham se enriquecido e que diante de futuras vivências possam se tornar significativos.

Por ser um conteúdo de Física Moderna e Contemporânea que se mostrou interessante aos alunos, propusemos, como já mencionado, uma sequência de aulas com atividades diversificadas e novas situações, como explicitado no Capítulo 5, intitulado Metodologia, e relatado com mais detalhes no Capítulo 6, que narra a implementação da proposta.

#### 4. A PROPOSTA

Como abordado na Introdução desta Dissertação, a Física Moderna e Contemporânea têm contribuído fortemente para o avanço tecnológico que temos vivenciado nos últimos tempos, e está presente em nosso cotidiano muito mais do que podemos imaginar. A todo o momento nos deparamos com o uso de tecnologias que nos proporcionam conforto e comodidade, como é o caso da telefonia celular, dos fornos de micro-ondas, dos computadores etc. Esta tecnologia deriva da aplicação prática de conceitos oriundos da Física Moderna.

No tratamento da saúde esta aplicabilidade também se faz muito presente, e podemos citar como exemplo a ressonância magnética, que é baseada na ressonância dos átomos a partir de campos magnéticos intensos produzidos por supercondutores (BRANÍCIO, 2001).

Percebe-se que a abordagem da Física feita no Ensino Médio há muito tempo encontra-se demasiadamente distante dos conhecimentos contemporâneos das Ciências; que o estudante não consegue enxergar importância nos conteúdos que aprende e com muita dificuldade reconhece no mundo tecnológico em que vive os princípios físicos aprendidos em sala de aula. Isto decorre do fato de que os conhecimentos são apresentados na escola de forma bastante descontextualizada, mas também porque a Física do século XX raramente é abordada/trabalhada nas escolas públicas e quando o é, geralmente se dá em um nível muito superficial.

Entendemos, assim, que o principal problema a ser enfrentado por este projeto é a contundente ausência da Física Moderna e Contemporânea na sala de aula do Ensino Médio. Ou seja, em pleno século XXI ainda ensinamos uma Física de pelo menos cem anos atrás.

Além disso, os conhecimentos do campo conceitual da Física Moderna são vistos como difíceis de serem trabalhados por grande parte dos professores de Física das escolas públicas, que não se sentem encorajados a trabalhar temas desta natureza, muitas vezes, em função de não terem formação apropriada.

Nesse sentido, buscou-se desenvolver um produto prático compatível com as condições que o professor da rede pública dispõe e que com pouco esforço poderá executar junto aos seus alunos, trabalhando um tema atual e complexo de forma simples.

Trabalhar Supercondutividade é, assim, um esforço que visa contemplar o Ensino Médio com um tópico de Física Moderna, considerando que o fenômeno tem inúmeras aplicações no mundo contemporâneo e que é importante tomarmos conhecimento do fenômeno em si e de suas potencialidades tecnológicas.

Como dito, o fenômeno da Supercondutividade está envolvido nas atuais tecnologias utilizadas na medicina, nos transportes, na geração, transmissão e armazenamento de energia elétrica dentre outras igualmente importantes. Além disso, dentre as propriedades básicas dos supercondutores está o Efeito Meissner que, responsável pela levitação passiva, desperta nas pessoas enorme curiosidade em função de ser a levitação considerada em meios populares um efeito “surreal”. Este aspecto contribui para atrair o interesse e incitar a curiosidade do aluno.

Assim, o objetivo geral desta proposta didática é introduzir aspectos da Física Moderna de forma a que possa permear os conteúdos tradicionalmente trabalhados no Ensino Médio e que proporcione conhecimentos significativos da Supercondutividade (origens, propriedades e aplicações), que é o campo conceitual que se pretendeu explorar.

Os objetivos específicos da proposta de ensino são:

- a) Propor, de forma introdutória, estudos da Física Contemporânea na sala de aula por meio da abordagem do tema Supercondutividade.
- b) Elaborar uma unidade didática, articulada a alguns conceitos-chave da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, para trabalhar o tema Supercondutividade, destacando neste planejamento didático *situações* no sentido atribuído por Vergnaud, utilizando-se, para tanto, atividades diversificadas.
- c) Utilizar, para a elaboração da unidade didática, materiais já disponíveis em ambientes virtuais da internet, como textos, demonstrações, vídeos,

animações, buscando tornar factível a compreensão deste tema e seu importante potencial tecnológico, por parte dos estudantes do Ensino Médio das escolas públicas, principalmente.

- d) Produzir alguns materiais, como textos e questionários, para serem trabalhados como situações didáticas complementares.
- e) Produzir um roteiro, como produto educacional deste trabalho, contemplando as diversas situações mencionadas para que o professor de Física possa utilizar de forma operacional na sala de aula sem necessidade de dispendir tempo e energia coletando informações, recursos e subsídios externos, muitas vezes inatingíveis para professores sobrecarregados, tendo que atender muitas turmas e uma grande quantidade de alunos.
- f) Proporcionar, por meio dos aspectos históricos associados à “descoberta” da Supercondutividade, que o aluno perceba que o conhecimento científico é uma construção humana que avança à custa de muito estudo, pesquisa e atitudes colaborativas.

Todos esses aspectos podem ser potencialmente motivadores para uma aprendizagem mais prazerosa e expressiva da Supercondutividade no Ensino Médio.

## 5. METODOLOGIA DE ENSINO

A primeira etapa deste trabalho compreendeu uma análise da literatura e o entendimento sobre a necessidade de se trabalhar a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, conforme argumentos já mencionados na introdução deste trabalho. Essa análise resultou na motivação para trabalharmos o tema Supercondutividade junto aos alunos do terceiro ano do Ensino Médio, por ser um tema instigante na Ciência.

O contexto e a evolução dos estudos da Supercondutividade, que no final desta proposta os alunos foram instigados a pesquisar, compõem um exemplo de como o conhecimento científico se desenvolve, demonstrando que é uma construção humana ao longo do tempo, dado que passado um século desde a sua “descoberta” ainda é um desafio aos cientistas a compreensão completa desse surpreendente fenômeno, que ainda se encontra em constante pesquisa e desenvolvimento.

O tema da Supercondutividade foi desenvolvido em três turmas de terceiro ano do ensino médio politécnico do Colégio Estadual São Luiz Gonzaga, situado no município gaúcho de Veranópolis.

O Colégio Estadual São Luiz Gonzaga está situado na região central da cidade de Veranópolis. Foi fundado em 1971 e conta com um prédio localizado em uma área privilegiada da cidade, em um amplo espaço, com condições adequadas para cada nível de ensino, distribuídos nos turnos da manhã, tarde e noite. Tem uma infraestrutura também adequada que permite ao professor planejar aulas diversificadas, dispondo de recursos como *datashow* para os professores utilizarem em sala de aula, lousa digital, aparelho multimídia, laboratório de ciências, laboratório de informática. Trabalha o Ensino Médio Politécnico e séries finais do Ensino Fundamental, apresentando em seu quadro mais de 800 alunos e 90 educadores.

Os alunos desse educandário são estudantes que residem na cidade de Veranópolis e interior, havendo também alunos que se deslocam de cidades

vizinhas, como Fagundes Varela e Cotiporã, RS. Estes alunos chegam ao Colégio por meio de transporte escolar. Os que residem no interior dessas cidades, nos momentos em que não estão na escola, dedicam-se às atividades da agricultura junto aos pais. Grande parte dos alunos concluintes do ensino médio presta vestibular e muitos deles permanecem na cidade, buscam emprego no mercado de trabalho e cursam a faculdade em cidades vizinhas.

As turmas de terceiro ano do ensino médio politécnico, contexto no qual foi desenvolvido este projeto, eram compostas por alunos com idade entre 15 e 16 anos.

A proposta contou, ao todo, com dez aulas de cinquenta minutos, totalizando três semanas. A carga horária atual de Física nesse colégio, para o terceiro ano, é de cento e cinquenta minutos semanais, o que corresponde a três horas-aula de cinquenta minutos. A implementação da sequência didática de Supercondutividade ocorreu em novembro de 2014, tendo sido inserida na sequência normal dos conteúdos da disciplina de Física, mais especificamente na abordagem do Eletromagnetismo, em horário regular, para todos os alunos das turmas do terceiro ano.

No Quadro 1 são apresentadas de forma simplificada as aulas, na sequência em que foram desenvolvidas.

Quadro 1 – Organização das Aulas

Aula		Atividade	Argumento/objetivos	C H
1ª Semana	1ª	Aula motivadora inicial de apresentação do tema, com slides, figuras e filmes.	Proporcionar ao aluno a formação de esquemas <sup>14</sup> iniciais que lhe darão bases para o conteúdo a ser desenvolvido: Supercondutividade.	1 h-a (50min)
	2ª	Trabalhar os conceitos de resistividade elétrica levando o aluno a compreender que a resistividade é uma característica das substâncias materiais: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Estudo de texto que enfoca a segunda Lei de Ohm.</li> <li>➤ Resolução de exercícios propostos.</li> </ul>	Desenvolver o conceito de resistividade a partir de resistência elétrica, conceito já conhecido pelos alunos.	1 h-a (50min)

<sup>14</sup> Conceito-chave da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud.

	3ª	<p>Trabalhar a relação da resistividade elétrica com a temperatura, conduzindo à ideia de supercondutividade:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Individualmente o aluno será solicitado a fazer uma análise e interpretação de um gráfico (a ser fornecido) para uma faixa de altas temperaturas, e orientado a fazer uma previsão a partir do gráfico, do comportamento da resistividade para baixas temperaturas.</li> <li>➤ O aluno irá registrar em seu caderno suas explicações.</li> <li>➤ Em seguida receberá um novo gráfico (de um livro de texto) retratando o comportamento da resistividade para baixas temperaturas e o confrontará com sua interpretação registrada e buscará uma nova interpretação.</li> <li>➤ Em seguida será proposto um debate de grande grupo sobre as diferentes interpretações dos alunos.</li> <li>➤ Por fim o professor apresentará a interpretação de H. K. Onnes (supercondutividade).</li> </ul>	<p>Com o conhecimento que o aluno já tem sobre o tema (esquemas iniciais) ele irá interpretar o gráfico percebendo que a conclusão desta interpretação pode não condizer com a interpretação aceita para o fenômeno. Assim, o aluno será estimulado a modificar os esquemas já formados, dando espaço para um novo conhecimento: o conceito de supercondutividade.</p>	1 h-a (50min)
2ª Semana	4ª	<p>Trabalhar o Diamagnetismo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Exibição de vídeo sobre os três principais ordenamentos magnéticos (ferromagnetismo, paramagnetismo, diamagnetismo). O vídeo compõe uma experiência para testar diferentes materiais, classificando-os.</li> </ul> <p>Trabalhar a Indução Eletromagnética:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Demonstração com um experimento real (bobina, imã e amperímetro analógico).</li> <li>➤ Exibição de vídeo mostrando o fenômeno e explicando-o.</li> </ul>	<p>Desenvolver conhecimentos acerca de Diamagnetismo e Indução Eletromagnética familiarizando-o a partir de experimentos e demonstrações de vídeos provocando a formação de esquemas que o prepararão para o entendimento do efeito Meissner a ser trabalhado na aula seguinte.</p>	1 h-a (50min)
	5ª	<p>Trabalhar o Efeito Meissner:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ A partir da exibição de um vídeo que mostra a levitação supercondutora (consequência do efeito Meissner) e do que foi trabalhado sobre diamagnetismo e indução eletromagnética, introduzir a explicação do efeito Meissner.</li> <li>➤ Desafio 1: os alunos serão questionados sobre “por que o supercondutor repele um campo magnético?”.</li> </ul> <p>Espera-se que tenham condições de responder de acordo com a explicação dada anteriormente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Desafio 2: serão questionados sobre “então o supercondutor é um condutor perfeito?”.</li> </ul> <p>No primeiro momento o professor ouve e anota as respostas no quadro. Projeta então, uma sequência de imagens acompanhadas de uma explicação para melhor interpretação das mesmas. Estas imagens mostram a ocorrência do diamagnetismo nos supercondutores e nos condutores perfeitos.</p> <p>A partir desta atividade o professor retorna ao questionamento anterior: “Então o supercondutor é um condutor perfeito?”.</p> <p>Os alunos procederão às respostas através de uma discussão de grande grupo. O professor fará o fechamento do desafio.</p>	<p>Desafiar os alunos por meio da criação de situações problematizadoras nas quais devam ser capazes de caracterizar e dar uma explicação plausível para o efeito Meissner e diferenciar supercondutor de condutor perfeito.</p>	1 h-a (50min)
	6ª	<p>Trabalhar a influência do campo magnético no Efeito Meissner:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Em duplas, interpretar dois gráficos dados pelo professor contendo temperatura crítica e campo magnético crítico (supercondutividade de tipo I e de tipo II). A partir deles os alunos terão que responder questões como: para uma temperatura “x” o material encontra-se em estado condutor normal ou supercondutor? É possível o material passar do estado supercondutor para condutor sem que seja alterada a sua temperatura? Qual a diferença entre os gráficos e o que ela sugere?</li> </ul> <p>As duplas expõem seus entendimentos ao grande grupo e o professor fará os comentários necessários, concluindo o tema.</p>	<p>Submeter os alunos a uma situação-problema fazendo com que eles percebam que os supercondutores têm características diferentes uns dos outros que conduz a classificá-los em dois grupos: tipo I e tipo II de acordo com os fatores que influenciam o estado supercondutor. Objetiva proporcionar aos alunos um refinamento em seus esquemas internos para contemplar os novos conceitos.</p>	1 h-a (50min)

3ª Semana	7ª	<p>Introdução ao conceito de Par de Cooper.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Através de um projetor multimídia, apresentar aos alunos uma animação* que demonstra a formação de fônons em uma rede cristalina e a formação de pares de elétrons.</li> </ul> <p>Desafio aos alunos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ O que representam as "bolinhas"?</li> <li>✓ Como imaginam este sistema para uma temperatura ambiente?</li> <li>✓ Nesta temperatura, a ondulação que se forma na rede cristalina (fônons) seria perceptível?</li> </ul> <p>Após as respostas dos alunos, é entregue um pequeno texto com a descrição do fenômeno ilustrado.</p> <p>Os alunos fazem a tarefa de leitura, podendo rever suas respostas e o professor monitorará para que as mesmas convivam para o que é esperado segundo a principal teoria que descreve o fenômeno da supercondutividade, Teoria BCS.</p> <p>* animação de própria autoria.</p>	<p>Proporcionar uma situação que forme nos alunos esquemas sobre a formação dos pares de Cooper. Objetiva conhecer a explicação científica mais aceita sobre o fenômeno Supercondutividade (Teoria BCS), relacionando os conceitos.</p>	1 h-a (50min)
	8ª e 9ª	<p>Trabalho orientado utilizando a ferramenta <i>WebQuest</i>.</p> <p>Na <i>WebQuest</i> serão disponibilizados vínculos para acesso à história da Supercondutividade e vínculos para acesso a vídeos demonstrativos do uso do efeito Meissner, instigando o aluno à pesquisa.</p> <p>A <i>WebQuest</i> também conterá uma atividade envolvendo questões para a apreensão dos estudos nela feitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Como foi descoberto o fenômeno da Supercondutividade?</li> <li>➤ Que fato importante na história da Supercondutividade ocorreu na primeira metade da década de 1980 que rendeu um prêmio Nobel de Física?</li> <li>➤ Como é usada a supercondutividade no cotidiano de nossas vidas?</li> <li>➤ Qual o principal desafio técnico científico para a aplicação prática deste fenômeno?</li> <li>➤ Acerca dos materiais supercondutores, o que os cientistas estão buscando atualmente que possibilitará uma revolução tecnológica?</li> </ul>	<p>Integrar os esquemas formados/diferenciados pelo aluno com o fim de construir um campo conceitual para consolidar os conceitos e valorizar o tema através de uma atividade diferenciada que envolve a tecnologia da informação e a pesquisa.</p> <p>Objetiva-se com a atividade levar o aluno a perceber que o conhecimento científico se constrói ao longo do tempo, com pesquisa, que ainda há muito por se descobrir e que a "descoberta" de supercondutores com temperatura crítica próxima da temperatura ambiente é iminente.</p> <p>Conhecer sobre o que já vem sendo feito com a supercondutividade, principais aplicações, onde a supercondutividade se faz presente no mundo tecnológico atual e quais as potencialidades do uso deste fenômeno. Perceber a importância deste fenômeno em função das vantagens e comodidade que ele pode oferecer para a vida da sociedade moderna.</p>	2 h-a (100min)
4ª Semana	10ª	<p>Avaliação escrita (questões qualitativas e objetivas sobre o tema).</p>	<p>Identificar se os objetivos propostos foram atingidos, mediante a análise das respostas dos alunos.</p> <p>Obs.: A avaliação escrita visa complementar a avaliação que será realizada durante todas as atividades desenvolvidas em cada aula.</p> <p>Esta avaliação irá integrar o processo avaliativo regular do semestre letivo utilizado na escola.</p>	1 h-a (50 min)

O foco do projeto esteve voltado à aprendizagem de conceitos associados à Supercondutividade, e tomamos por base aspectos da abordagem vergnaudiana dos Campos Conceituais.

A metodologia utilizada envolveu aulas dialogadas; utilização de recursos audiovisuais (vídeos, slides, animações); atividade envolvendo *WebQuest*, leituras e

atividades em grupo, resolução de exercícios e outras situações (uso e interpretação de gráficos) que buscaram provocar no aluno a construção ou modificação de esquemas. Segundo Vergnaud (1990, *apud* Moreira, 2002, p. 12), um esquema é a *organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações*.

A estratégia de exposição dialogada nas aulas buscou abrir o tema de estudo, contextualizando-o e fazendo uma síntese de modo a implicar curiosidades sobre o estudo do tema Supercondutividade. Embora a aula expositiva tradicional seja alvo de críticas, é importante considerar que a exposição se faz necessária para levar aos alunos os elementos considerados mais importantes para a compreensão do tema e buscamos contornar a monossemia através de uma exposição marcada pela interatividade com os alunos, sempre que isso se mostrou possível.

A escolha pelo uso de recursos audiovisuais objetivou tornar o ambiente de sala de aula mais atraente e desenvolver a curiosidade do aluno na busca do conhecimento. Os recursos audiovisuais compõem materiais didáticos que facilitam o processo de ensino e aprendizagem, uma vez que a linguagem visual carrega muitas informações, tendo as imagens uma importância abrangente.

Trazer a mídia para dentro da escola, tanto para discussão quanto para seu uso pedagógico, é uma maneira de aproximar os alunos de suas realidades, o que permite maior facilidade na ocorrência das mediações escolares, tanto mediações alunos-professores quanto alunos-tecnologias-professores (BELLONI, 2005; FANTIN, 2006, *apud* CHAMPANGNATTE; NUNES, 2011).

A atividade *WebQuest* foi escolhida como estratégia didática para o desenvolvimento das duas últimas aulas, pois ela permite ao professor organizar uma atividade de estudo e aprendizagem envolvendo a seleção prévia de fontes de informações relevantes ao tema abordado, objetivando o aprofundamento deste tema e também retirando os alunos da passividade. A *WebQuest* é uma das formas possíveis de se introduzir mídias na educação. Sua estrutura permite que os alunos se envolvam no desenvolvimento de uma tarefa de investigação usando principalmente recursos da internet, agregando pesquisa, trabalho em grupo, desenvolvimento de habilidades, direcionando o aluno para um estudo organizado e autônomo. Seu criador, Bernie Dodge, assim a definiu:

*WebQuest* é uma metodologia de ensino que visa a promover o bom uso da internet entre alunos com mais de oito anos. E foi pensada para possibilitar o melhor aproveitamento possível do tempo deles. A ideia é que os alunos não percam horas e horas procurando por informações, mas que façam uso delas da mesma maneira que terão que fazer mais tarde, como cidadãos e profissionais. A *WebQuest* visa a desenvolver nos alunos a habilidade de, com ajuda da internet, pensar com refinamento (DODGE, 2005, p.1).

A *WebQuest* é assim uma proposta didático-metodológica interessante que agrega recursos da tecnologia e suas possibilidades, bem como estratégias didáticas que permitem ao aluno pesquisar, transformar informações, desenvolver a criatividade, e para o professor, potencializa a autoria de trabalhos.

Há várias formas de elaborar uma *WebQuest*. O site do MEC<sup>15</sup> fornece informações e é uma boa referência para quem tem interesse em aprender sobre esse recurso.

A avaliação esteve presente em todas as atividades desenvolvidas, considerando as manifestações e a participação do aluno nos momentos de trabalho em grupo, nas exposições de grande grupo, nos debates, na prova escrita e demais atividades, com o fim de identificar se houve evolução cognitiva, apropriação dos conceitos e a necessidade de novas intervenções.

Buscamos compreender os avanços dos estudantes e a qualidade de seu aprendizado. Para tanto, a avaliação teve como foco a observação, buscando envolver nas atividades todos os aprendizes. Privilegiamos desenvolver um trabalho participativo junto aos alunos tanto na explanação do conteúdo quanto nas demais atividades.

Assim, mesmo nas aulas expositivas, em todas as turmas, buscamos envolver e incentivar a participação de toda a classe por meio de questionamentos em que os estudantes tiveram oportunidade de expor suas formas de pensamento e compreensões sobre o tema. Foram propostas atividades de grupo, instigando a participação de todos os integrantes de cada grupo, buscando orientar aqueles com maiores dificuldades, perceber o nível de envolvimento dos alunos e fornecer a eles

---

<sup>15</sup> Recursos da Internet para Educação: <http://webeduc.mec.gov.br/webquest/>

novos elementos que pudessem contribuir no lento processo de elaboração e organização de seus esquemas.

Embora não tenha sido utilizada uma planilha, uma tabela ou similar para anotação das falas e intervenções individuais de cada aluno, esclarece-se que é orientação da escola em que o projeto foi aplicado levar em consideração a participação dos alunos na avaliação final. Dessa maneira, mesmo não havendo cobrança de registros escritos das participações, como os professores trabalham com as mesmas turmas durante todo o ano, acabam conhecendo cada aluno, o lugar que habitualmente ocupam na sala de aula, como se manifestam e têm, ao longo do tempo, uma nítida percepção dos avanços e mudanças que ocorrem em termos de participação, envolvimento, comprometimento etc.

Desenvolvemos também uma prova escrita, aplicada na última aula do módulo, com o objetivo de captar o que foi apreendido pelos alunos sobre o conteúdo, sempre tendo presente que a aprendizagem não se dá de uma hora para a outra, ela requer uma vivência de muitas situações e por longo tempo. Segundo Vergnaud, o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito que aprende, ocorre ao longo de um extenso período de tempo (MOREIRA, 2011).

Como produto educacional resultante deste trabalho foi elaborado uma sequência didática em formato de texto de apoio ao professor de Física contendo dez (10) Planos de Aula, com a indicação e seleção de vídeos e atividades didáticas para o professor poder desenvolver com seus alunos o tema da Supercondutividade. Dois pequenos textos de nossa autoria para serem trabalhados em sala de aula, referentes à Resistividade Elétrica e à “descoberta” da Supercondutividade, também compõem o produto educacional. Esse produto foi utilizado na implementação da proposta do presente trabalho e se mostrou útil e factível como conteúdo inserido no currículo regular.

O relato detalhado da dinâmica das aulas e também da forma como o material produzido e selecionado foi utilizado é apresentado no Capítulo 6, que se segue.

## 6. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

Este capítulo tem o objetivo de narrar a dinâmica, o contexto e os principais eventos que marcaram a aplicação do módulo (sequência didática) construído para o ensino de Supercondutividade, como explicitado no Capítulo 4 (A Proposta), que foi aplicado em três turmas de terceiro ano do Ensino Médio do Colégio Estadual São Luiz Gonzaga, na cidade de Veranópolis, Rio Grande do Sul, como já citado.

A aplicação estendeu-se por um mês e foi feita no horário regular da escola, envolveu dez horas-aula, de forma que o tópico de Supercondutividade foi incluído no rol de temas desenvolvidos junto a essas turmas e sua avaliação fez parte do conjunto de itens previstos pela escola para avaliar o desempenho desses alunos.

Passa-se, então, a descrever como os eventos educativos de aspectos introdutórios de Física Moderna e Contemporânea – a Supercondutividade – deram-se, através de uma narrativa aula a aula. A descrição segue a ordem em que foram implementadas as aulas, conforme tabela vigente de horários na época.

### **Aula 1.1 – Turma 301 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Motivação ao Estudo da Supercondutividade**

Nesse primeiro dia, quando cheguei, os alunos estavam com o material guardado, de pé, circulando pela sala e alguns no corredor, em frente à sala. Ao verem-me, entraram e foram se acomodando, mas não diminuíram a conversa. Entrei apressado, cumprimentei quem estava mais próximo e preoquepei-me em organizar tudo no menor tempo possível para poder conversar com a turma sobre o que aconteceria nas aulas desse mês de novembro e introduzir o tema com alguma calma.

Como as salas de aula da escola não dispõem de projetor, precisei carregá-lo, ligá-lo e ajustar a projeção para que todos pudessem ver. Isso levou algum tempo, já que não dispunha de tela própria e nem apoio adequado para o aparelho, que precisou ser acomodado na mesa do professor, dado que a única tomada de energia elétrica ficava a pouco mais de dois metros de altura, no meio da parede,

acima do quadro de giz. A projeção foi feita na parede, acima do quadro. O arquivo com a apresentação em slides abriu facilmente e ficou nítido. A essa altura, havia transcorrido cerca de dez minutos, sendo que a apresentação preparada para essa primeira aula era de trinta minutos.

Comecei a explicação e os alunos imediatamente pararam a conversa, acomodaram-se em seus lugares e ouviram com atenção. Fiz uma rápida introdução expondo a forma como iríamos trabalhar e estudar ao longo das dez aulas do mês de novembro e foquei no papel da autonomia que cada um deveria desenvolver.

O professor ofereceria situações, como propõe Vergnaud, levaria materiais para leitura, vídeos, imagens e incentivaria o debate de ideias, mas não daria respostas prontas aos questionamentos que fossem feitos. Todos deveriam se esforçar para buscar as respostas e levá-las para a discussão no grupo. Em algumas aulas seriam recolhidos alguns trabalhos escritos para verificar como estavam se apropriando dos novos conhecimentos e na última aula prestariam uma prova contemplando todo o tema tratado ao longo das nove aulas. A avaliação global envolveria a qualidade das respostas escritas, a participação nas discussões em cada aula e também o desempenho mostrado na prova ao final da unidade.

Todos ouviram atentamente sendo que alguns esboçaram expressões de preocupação, outros de surpresa, mas também de curiosidade e ansiedade para conhecer o tema, visto que em aula anterior eu comentara sobre Supercondutividade e recomendara que lessem sobre o assunto.

Para finalizar esta parte, expliquei que essas aulas também fariam parte do meu trabalho de mestrado e que possivelmente utilizaria algumas imagens da turma como ilustração dos resultados para a escrita da dissertação. Avisei que nessas imagens, a identidade pessoal de cada um ficaria protegida.

Com isso posto, iniciei o estudo da Supercondutividade por meio de slides<sup>16</sup> preparados para esse fim. Utilizei como motivação para o estudo o funcionamento

---

<sup>16</sup> Apêndice A.

dos trens de levitação magnética, mais especificamente o *Shanghai Transrapid*<sup>17</sup>, que embora não use a levitação gerada por supercondutores (efeito Meissner), serviu como trampolim para chegarmos a ele.

Alguns slides<sup>18</sup> mostravam imagens fotográficas, obtidas da internet, de trens de alta velocidade que utilizam a tecnologia da levitação magnética. Após verem, os alunos foram questionados sobre as imagens e foi possível perceber o entusiasmo nas reações de muitos. Alguns se acomodaram melhor nas cadeiras, outros esboçaram expressões faciais de curiosidade e contentamento por ter chegado à sala de aula uma discussão sobre o que viam, em geral, em documentários de televisão. Alguns souberam dizer que se tratavam de “trens-bala”, ninguém falou em “*maglev*” e alguns não souberam diferenciar de outros tipos de trens. Na sequência de slides ninguém se pronunciou, apenas ouviram atentamente minha explicação. No Slide 5, quando frisei que os *maglevs* não andam sobre rodas e não tocam os trilhos ao atingirem alta velocidade causou espanto aos mais atentos e gerou perguntas como: “*Como fazem para parar?*”, “*Por que flutuam só em alta velocidade?*”, “*Como não saem dos trilhos?*” Esses questionamentos me levaram a recordá-los, rapidamente, sobre atração e repulsão magnéticas, estudadas no início do semestre.

Ao projetar a pergunta, título do slide 6, “*Mas quais as vantagens desse meio de transporte?*” propus que refletissem e levantassem algumas vantagens que um trem que levita pode ter sobre um trem tradicional, sobre rodas. Essa proposta foi bem recebida pelo grupo e logo foram surgindo ideias que foram ditas pelos alunos, como “*tem menos atrito*”, “*não tem resistência para se movimentar*”, “*não precisa de combustível*”, entre outras. A cada resposta, ainda que semelhante a outras falas, fazíamos uma discussão rápida sobre a coerência e a possibilidade de ser válida. Então, no final fui apresentando e comentando cada um dos itens contidos no slide, com a concordância dos alunos.

---

<sup>17</sup> Imagens obtidas do sítio de compartilhamento de vídeos youtube: [www.youtube.com/v/XGR-md9328Q](http://www.youtube.com/v/XGR-md9328Q). Acesso em 20/10/2014.

<sup>18</sup> Os slides estão contidos no Produto Educacional.

O Slide 7 incluía um vídeo<sup>19</sup> produzido por um passageiro durante uma viagem no *Shanghai Transrapid*. Convidei os alunos a se imaginarem no trem fazendo uma viagem e, então, acompanharem com atenção as cenas do vídeo. Destaquei que, segundo os relatos, a sensação dentro do trem em movimento é quase como se estivesse parado, da mesma forma como eles estavam na sala de aula. Foi um alvoroço quando viram o trem acelerar atingindo velocidades altíssimas (100, 200, 300 e até 430 km/h que é o máximo que ele atinge). Os comentários eram entusiasmados: “*A paisagem quase não se move.*”, “*As pessoas nem enjoam.*”, “*Que massa! É muito rápido!*”. Passada a emoção da “viagem” (imaginária) ficaram curiosos para saber o que viria e escutaram, sob alguns cochichos, as explicações que buscaram introduzir a Supercondutividade como conhecimento da Física Moderna.

Ao projetar a pergunta “*O que é supercondutividade?*” que era o título do slide 10, solicitei que falassem o que entendiam dessa palavra. Alguns souberam comentar o que leram previamente para a aula, mas a maioria preferiu não se pronunciar sobre o que lhes transmitia essa palavra. Então, mostrei o restante do slide e muitos tomaram nota, de forma espontânea, mas aparentemente sem entender a relação que havia com o trem. A essa altura os alunos começaram a manifestar cansaço, o nível de conversas aumentou e houve uma pequena agitação na turma. Em função disso e do tempo estar se esgotando, precisei agilizar a apresentação.

A partir daí, alguns slides foram lidos e no slide 13, fiz um breve comentário sobre a utilização de eletroímãs nos aceleradores de partículas e em aparelhos de ressonância magnética, comumente utilizados em hospitais, sem entrar em detalhes, mas buscando associar os princípios da Física e seu emprego no cotidiano atual. Falei de uma possível aplicação para a transmissão de grandes correntes elétricas, era o que aparecia no slide 14, o que chamou a atenção de alguns alunos quando fiz uma comparação com um condutor comum, fio de cobre.

---

<sup>19</sup> [www.youtube.com/v/XGR-md9328Q](http://www.youtube.com/v/XGR-md9328Q). Acesso em 20/10/2014.

Para finalizar, comentei rapidamente alguns exemplos de possíveis aplicações da Supercondutividade e passei um vídeo<sup>20</sup> associado a um motor cujos mancais são magnéticos e não possuem contato físico. O sinal já havia tocado para a troca de período, mas solicitei que a turma tivesse um pouco de paciência e aguardasse na sala de aula até o vídeo terminar.

Ao encerrar a aula, com cinco minutos extrapolados, os alunos saíram da sala fazendo alguns comentários sobre o vídeo do trem-bala; de que o assunto “*parece ser interessante, mas vai ser complicado*”. Uma aluna comentou, dirigindo-se a mim, que gostara da aula, sobretudo porque utilizei o recurso de slide, ilustrando o que dizia e, na sua avaliação, facilitando a compreensão. Esse comentário foi reforçado por vários outros colegas de turma.

Penso que a aula cumpriu o objetivo programado, que era de oferecer situações novas e uma discussão inicial visando motivar os alunos à aprendizagem e incitar a curiosidade sobre o tema da Supercondutividade.

### **Aula 1.2 – Turma 302 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Motivação ao Estudo da Supercondutividade**

Entrei na sala dessa turma com dez minutos de atraso, em função de ter encerrado a aula, na turma anterior, atrasado e também pela necessidade de desligar e desinstalar o projetor e arrumar os cabos de conexão para transporte até a outra sala. Estes são detalhes operacionais que atrapalham um pouco quando não há projetor instalado em todas as salas de aula, mas não inviabiliza a iniciativa.

Então, da mesma forma que na turma anterior, cumprimentei rápido os alunos que estavam mais próximos, iniciando a instalação e organização dos equipamentos para deixá-los prontos no menor tempo possível. Dessa vez, transcorreu menos tempo na organização dos equipamentos, mas ainda assim a aula iniciou com vinte minutos do tempo disponível. Porém, como nessa turma dispunha de dois períodos,

---

<sup>20</sup> [www.youtube.com/watch?v=3zllrRKlvrY](http://www.youtube.com/watch?v=3zllrRKlvrY). Vídeo “*Los motores del futuro*”. Acesso em 20/10/2014.

fiquei menos tenso para desenvolver as atividades programadas para a primeira aula.

Os alunos estavam dispersos quando cheguei. Alguns aproveitaram o meu atraso para ir ao banheiro e, então, entraram também atrasados, com a minha permissão. Comecei igualmente expondo o que iríamos trabalhar e estudar ao longo das aulas seguintes, o modo como seriam avaliados e como eu esperava que se comportassem, repetindo o discurso feito na turma anterior. Procurei ser mais sucinto para ganhar tempo para a atividade principal.

De modo geral, essa turma era menos participativa em sala de aula e mais difícil de trabalhar, uma vez que boa parte de seus integrantes tinha outros interesses, envolvendo-se com a comissão de formatura, Grêmio Estudantil e outros. Então, sempre havia motivos para estarem com a atenção desviada do assunto de aula. Entretanto, houve boa participação no começo da apresentação até o slide 7, quando propus uma “viagem virtual”<sup>21</sup> com o trem de levitação.

Esses alunos também gostaram da proposta e se impressionaram com a velocidade que o trem pode alcançar. Depois disso, alguns começaram a se distrair, a conversar com outros e a condução da aula teve que ser interrompida. Ao retomar, a atenção da turma foi boa para os slides em que passei a falar da Supercondutividade e da possibilidade de utilizá-la para transmissão de correntes elétricas de elevada intensidade. Novamente, ao projetar o último slide tocou o sinal para a troca de período. Mas como o período seguinte era com a mesma turma, achei melhor continuar com a apresentação, passando, então, o vídeo<sup>22</sup> dos mancais magnéticos, como uma promessa de possível aplicação da supercondutividade em motores, deixando para trás o outro vídeo, que era sobre armazenamento de energia mecânica em *flywheel*. Com isso, encerrei essa aula, com cinco minutos de atraso.

---

<sup>21</sup> Vídeo: [www.youtube.com/v/XGR-md9328Q](http://www.youtube.com/v/XGR-md9328Q). Acesso em 20/10/2014.

<sup>22</sup> [www.youtube.com/watch?v=3zllrRKlvrY](http://www.youtube.com/watch?v=3zllrRKlvrY). Vídeo “Los motores del futuro”. Acesso em 20/10/2014.

Embora a turma tenha sido bastante dispersa, senti que a aula despertou a curiosidade e o interesse dos alunos para o assunto, da mesma forma que na turma 301.

### **Aula 1.3 – Turma 303 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Motivação ao Estudo da Supercondutividade**

Esse era o quinto e último período de aula do turno da manhã e na prática ele costuma ser mais curto. Os alunos já estavam cansados, mas me receberam com entusiasmo e curiosidade, pois sabiam que começaríamos o estudo de um tema novo. Alguns disseram ter lido alguma coisa no dia anterior sobre a Supercondutividade e ficaram com boas expectativas para as aulas. Consegui chegar no tempo certo e organizei o material rapidamente.

Tomei a palavra com cerca de oito minutos transcorridos, quando todos já estavam acomodados, aguardando e com pouca conversa. De modo geral, essa turma sempre se mostrava muito esforçada e participativa, embora houvesse exceções. Durante a exposição inicial os alunos manifestaram repetidas vezes certa preocupação em saber se o assunto seria difícil e como seriam as avaliações, mas sempre foram receptivos ao novo conteúdo.

Por se tratar de um período “mais curto” em que os alunos já estavam cansados, precisei ser mais dinâmico e não me detive muito em discussões. Os alunos ficaram bastante atentos aos slides e também à minha fala. Mais de dez alunos souberam identificar o “trem-bala”. Nesse ponto, pude ouvir a expressão “*MagLev*”, expressão que nas outras turmas não surgira. O vídeo<sup>23</sup> do trem de Shangai causou euforia e curiosidade com respeito ao seu funcionamento. Embora nenhum dos alunos tivesse ouvido falar em Supercondutividade, uma aluna expressou com suas palavras o que imaginava ser, em função da sugestão de pesquisa feita na última aula. Ela disse que “*é um material que conduz muito bem a energia*”, o que mostrou seu nível de interesse pelo assunto.

---

<sup>23</sup> [www.youtube.com/v/XGR-md9328Q](http://www.youtube.com/v/XGR-md9328Q). Acesso em 20/10/2014.

Ao citar algumas aplicações de supercondutores na medicina e em aceleradores de partículas, novos comentários e curiosidades foram surgindo, de forma que se tornou difícil concluir plenamente a apresentação. Mas a ideia era essa mesmo, deixar os alunos se expressarem livremente nesse primeiro momento.

Faltando dois minutos para tocar o sinal e não podendo segurá-los em aula além do tempo regular para concluir a apresentação, encerrei a aula sem passar os dois vídeos finais (sobre mancais magnéticos e baterias mecânicas) e, então, apenas comentei rapidamente do que se tratavam, na certeza de que em aulas subsequentes eles poderiam ter acesso a esse material com mais tempo.

Nessa aula percebi que os alunos haviam sido proativos no sentido de pesquisarem o assunto antes mesmo de terem a primeira aula, o que os deixou predispostos a um novo aprendizado. Houve grande participação por parte dos alunos e comentários bastante pertinentes demonstrando fazerem correlações entre informações que já tinham com as novas informações advindas, seja da própria aula, seja das leituras prévias e espontâneas de alguns alunos. As atitudes refletidas nessas atividades poderiam quiçá ser indícios de que começavam a se formar esquemas.

### **Aula 2.1 – Turma 302 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Resistividade Elétrica**

Essa aula foi emendada à Aula 1.2 (já descrita), visto que foram dois períodos consecutivos. Esta separação, bem como a numeração das aulas, está sendo feita para padronizar as narrativas e também para obedecer a ordem dos assuntos abordados.

Assim, ao encerrar a atividade da primeira aula, passei para as orientações do que fariam nessa segunda aula. Nesse momento, os alunos diminuíram a conversa e se acomodaram. Então, informei que a atividade que seria desenvolvida retomava nosso estudo de Eletrodinâmica (circuitos elétricos, corrente e resistência elétrica) para desenvolver melhor a ideia de condução elétrica e os fatores que determinam a resistência elétrica. Solicitei que cada um, individualmente, fizesse a

leitura/estudo dos tópicos 1 e 2 do texto “Resistividade Elétrica”<sup>24</sup> que lhes foi entregue e respondesse, também individualmente, às questões que nele constavam. As respostas deveriam estar em folha separada para ser entregue ao professor. Salientei que procurassem esforçar-se ao máximo para formular, sozinhos, respostas com base nas informações do texto e que, logo após todos entregarem suas folhas, faríamos uma discussão e, então, cada um anotaria em seu caderno a resposta correta, corrigindo-se se houvesse necessidade. A partir disso, partiríamos para a segunda parte do texto, cujas atividades, que também seriam entregues (na aula seguinte) poderiam concluir em casa.

Dadas essas orientações, procedi à entrega da primeira parte do texto e passei a observá-los. Contudo, o que era para durar apenas quinze minutos levou quase meia hora. Embora eu tivesse percebido um bom envolvimento de todos, a maioria precisou ler várias vezes o texto entregue e não sabia o que responder nas questões. Ao debater as respostas que os alunos deram, percebi que havia muita confusão no entendimento dos conceitos, mesmo que esses conteúdos já tivessem sido bastante trabalhados anteriormente. Então, foi necessário refazer a explicação sobre alguns dos conceitos abordados no texto, como: rede cristalina e secção reta de um condutor.

Como o tempo já estava ficando apertado, para encerrar a aula, entreguei a segunda e última parte do texto e lemos em voz alta, em conjunto, por meio de voluntários. Discutimos a ideia da resistividade elétrica dos materiais e solicitei que pesquisassem e fizessem as atividades finais em casa, para entregar na aula seguinte e liberei-os para o recreio, com quatro minutos passados do sinal.

A leitura do texto e a escrita de respostas foi uma tarefa, ou situação, no dizer de Vergnaud, que se mostrou importante não apenas para retirar os alunos da passividade, mas para identificar conceitos que precisariam ser retomados. De fato, as tarefas são fundamentais para que o aprendiz amplie o seu campo conceitual (dos conceitos científicos).

---

<sup>24</sup> Texto de própria autoria no qual se define e se caracteriza Resistividade Elétrica diferenciando-a de Resistência Elétrica, que pode ser visto no Apêndice B.

**Aula 2.2 – Turma 301 (05/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h)  
– Resistividade Elétrica**

Cheguei à sala de aula sem atraso. Mas como essa era a primeira aula após o intervalo, os alunos chegaram agitados, barulhentos e para acomodá-los levei em torno de cinco minutos. No período seguinte eles teriam uma avaliação de Química e isso fazia com que boa parte ficasse, às escondidas, estudando aquela matéria e dando pouca atenção à Física.

Iniciei passando as instruções sobre como se desenvolveria a aula e o que eles teriam que fazer. Logo manifestaram preocupação em ter atividade avaliativa nessa aula, sendo que depois teriam também prova em outra disciplina. Foi preciso conversar e conscientizar de que seria importante se dedicar ao que estava sendo proposto naquele momento e deixar de lado os outros compromissos. Entreguei os textos a cada aluno e passei a observá-los. Da mesma forma, como na turma anterior, houve bastante dificuldade em realizar a tarefa e responder o questionário, pois não recordavam os conteúdos já estudados. Embora dispusessem do caderno para pesquisar o que fosse necessário, pareceram resistir a isso e a atividade se estendeu bem além dos quinze minutos previstos. Então, precisei intervir fazendo as perguntas em voz alta para que alguns voluntários falassem suas respostas. Cada resposta era questionada para que o grupo julgasse e chegasse a um consenso. Dessa forma, pudemos avançar um pouco.

A segunda parte do texto foi lida em voz alta e discutida com o grande grupo, a fim de poder concluir, ainda que parcialmente, o planejamento dessa segunda aula. Os alunos foram orientados a fazer as atividades finais do texto em casa e a entregar na aula seguinte. Com isso, encerramos a aula exatamente no momento do toque do sinal.

Nessa turma houve um pouco mais de resistência à tarefa. Houve certa competição de interesses, entre o que os alunos queriam fazer (estudar Química) e o que deviam fazer como tarefa de Física. Apesar desta dificuldade, o objetivo da aula foi atingido, percebendo-se, da mesma forma que na turma 302, que a tarefa provocou certa desacomodação cognitiva nos alunos.

### **Aula 2.3 – Turma 303 (06/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Resistividade Elétrica**

Essa turma teve, nesse dia, dois períodos juntos e, portanto, as aulas 2.3 e 3.1 foram emendadas e são descritas separadamente pelas razões já expostas. Ao chegar à sala de aula, a maioria dos alunos estava sentada, com poucas conversas, e fui recebido com um sonoro “*Bom dia! O que vamos estudar hoje?*”, que foi dito por uma aluna.

Antes que houvesse tempo de eu pensar na sinceridade desse cumprimento, um aluno comentou que olhara alguns vídeos na tarde anterior sobre os “trens-bala”. Uma aluna falou, mostrando no seu caderno algumas colagens, que procurou informações sobre Supercondutividade e mais alguns alunos levantaram seus cadernos mostrando algumas anotações. Isso me deixou bastante contente e impressionado, uma vez que não era comum perceber esse tipo de comportamento. Então, tratei logo de cumprimentá-los e iniciar as orientações para a aula daquele período, com o intuito de ganhar tempo para as atividades, dado que nas demais turmas o tempo fora curto. O grupo recebeu bem a proposta de trabalho e, assim que cada um recebeu seu texto, iniciou a atividade.

Conforme proposto, quando as dúvidas surgiam, muitos folheavam o caderno para recordar, o que não foi observado nas outras turmas. As expressões faciais que eu vi não foram de desânimo, mas a maioria precisou de um tempo maior do que os quinze minutos planejados.

No processo de socialização e discussão das respostas, a participação foi boa. Os conceitos de rede cristalina e impurezas da rede foram bem assimilados por alguns alunos que ajudaram, com suas explicações, os colegas a compreenderem. No entanto, houve dificuldade em compreender adequadamente por que fios de maior seção transversal oferecem menos resistência elétrica. A concepção de que seria porque os íons da rede ficam mais espaçados era muito forte e senti que, embora eu tivesse dado novos esclarecimentos, não foram suficientes para modificá-la. É possível que os alunos conservem, como defende Toulmin (1977), uma ecologia conceitual, ou seja, que convivam pacificamente concepções alternativas e

científicas em suas estruturas cognitivas e que a mudança conceitual seja, de fato, um processo lento e evolutivo. Cremos que, neste ponto, Toulmin e Vergnaud alinham-se.

Restando apenas dez minutos para terminar o tempo de aula, distribuí rapidamente a segunda parte do texto, com a qual poderiam se apropriar do conceito de resistividade elétrica e passei as novas instruções. Voluntários leram em voz alta e refletimos um pouco o significado de resistividade, comparando-a com a resistência. Essa reflexão dialogada foi conduzida de forma a que os alunos falassem como e o que estavam assimilando.

De modo geral, tive a sensação de que ficou clara a distinção entre esses conceitos e as características de cada um. Finalmente, a atividade final foi deixada para ser feita em casa e entregar na aula seguinte, como desafio.

Essa turma novamente se destacou pela intensa participação e envolvimento para com o tema estudado. Verifiquei que houve fatos refletidos por iniciativa de alguns alunos, que os levaram para a discussão em aula, com elementos novos pesquisados espontaneamente. Quando isso é percebido, resulta importante para a formação/alteração dos esquemas, no sentido dado por Vergnaud, ampliando a capacidade de compreensão por parte do aluno.

### **Aula 3.1 – Turma 303 (06/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica**

Essa aula, como já explicitado, foi uma continuidade da aula 2.3, já que os períodos eram contínuos. Os alunos haviam discutido o conceito de resistividade elétrica e isso facilitou o desenvolvimento da aula. Houve um atraso inicial de cinco minutos em função de um breve intervalo após a primeira aula.

Para cada aluno, individualmente, foi entregue uma ficha contendo um gráfico da resistividade em função da temperatura, para o cobre e para o ouro, acima de 200 K. A reação de alguns alunos foi de desconforto por se tratar de atividade envolvendo gráficos, mas a maioria se portou com curiosidade. Foram logo

questionando as unidades das grandezas representadas nos eixos e se eram medidas reais. Então, orientei-os a colar a ficha no caderno, a fazer a interpretação dos gráficos e a escrever suas conclusões.

Nesse momento, houve certa resistência à realização da tarefa, o que me levou a conduzir a análise através de questionamentos como: *A resistividade do material é sempre a mesma? De acordo com os gráficos, o que, explicitamente, interfere nos valores da resistividade? Isso faz sentido, segundo o que discutimos na aula anterior? O que acontece, a nível microscópico, para a resistividade ser maior com temperaturas mais altas?...* A cada pergunta, as respostas foram surgindo e sendo discutidas até chegarmos às conclusões desejadas. Então, deveriam formular uma descrição no caderno, mas isto nem todos fizeram, por considerarem desnecessário, uma vez que, segundo eles, haviam entendido.

Minhas provocações, ou colocação de conflito cognitivo, continuaram com a proposta de que tentassem predizer como seriam aqueles gráficos para temperaturas menores, até atingir eventualmente o zero absoluto.

Essa foi a melhor parte da aula! O desafio foi bem aceito e as tentativas de explicações foram “pipocando”, isto é, espontaneamente foram sendo manifestadas. Alguns “chutaram” qualquer coisa. Mas outros defenderam suas ideias de forma consistente, lógica e coerente com as discussões anteriores. Isso se deu até que chegamos a um ponto em que havia nitidamente duas versões (duas hipóteses) igualmente bem fundamentadas: a resistividade diminuiria até sumir; a resistividade se tornaria muito grande porque os elétrons parariam. Nesse momento, minha alegria foi imensa porque, de certa forma, essas duas visões também surgiram entre os cientistas no início do século XX, quando debatiam essas questões no início dos estudos em Supercondutividade.

Segui problematizando cada uma dessas visões. Esbocei num gráfico, no quadro, as curvas representativas dessas duas linhas de pensamento, deixando no ar a dúvida sobre qual estaria correta. Foi fascinante perceber como o grupo de alunos estava envolvido na situação e ávido por saber o desfecho. Esse foi o momento em que entreguei a cada um a segunda ficha, como continuação daqueles

gráficos, mas para temperaturas baixas, de 0 K a 60 K. Logo perceberam o que os gráficos retratavam e as reações foram das mais diversas: *Claro! Nem um, nem outro! ... Então não é verdade que os elétrons congelam? A energia passa mesmo com tudo parado.* Essas foram algumas das colocações ouvidas.

Convidei-os a refletirem sobre o que estavam dizendo e o que os gráficos indicavam a fim de aceitarem melhor aqueles resultados. Finalmente, um último gráfico foi entregue no qual estavam reproduzidos em um único plano cartesiano os dados da resistividade elétrica do cobre, da prata e do nióbio, no intervalo de temperaturas baixas, próximas do zero absoluto. A surpresa causada pelos dados do nióbio se tornou evidente na reação de todos os que acompanhavam a discussão (era a maioria). *“Por que esse degrau?”*, perguntou um. *Falhou a experiência!* tentou justificar outro. *Ficou sem nenhuma resistência elétrica!* exclamou uma menina. Nesse momento chamei a atenção para distinguir “resistência” de “resistividade” e a menina logo se corrigiu.

Questionei a turma sobre se o gráfico de fato mostrava o que a colega havia sugerido e que reflexo teria na resistência elétrica. Um menino falou: *se não tem resistividade, também não tem resistência!* Nesse momento, outros colegas se puseram a defender essa mesma ideia. Questionei, então, sobre a intensidade da corrente elétrica que poderia passar e, no ímpeto, alguém respondeu *“nenhuma”*, mas logo foi contestado por uma colega que afirmou *“Não, é o contrário! Vai passar muita corrente.”* Concordei acenando com a cabeça e questionei: *Podemos imaginar que sua intensidade será infinita, já que não há mais resistividade?* Fui surpreendido pela resposta de um aluno que até então não havia se manifestado: *Não, porque os átomos da rede ainda estão lá e pode ser que ainda atrapalhem um pouco.* Foi fantástica essa colocação porque nos fez refletir sobre os fatores que contribuem para a resistividade que, dentre tantos além da temperatura, tem também as imperfeições da rede cristalina. Questionei qual dos três materiais era o melhor condutor elétrico, sem especificar em que temperatura. Os mais apressados disseram que era a prata, mas uma aluna alertou: *depende, abaixo de oito (kelvin) o nióbio é o melhor. Quanto melhor?* questionei e ela respondeu *“muito melhor”*. Então voltei a questionar: *Se o cobre já é tido como um bom condutor elétrico e o nióbio está se mostrando ser muitíssimo melhor, pelo menos quando super-resfriado, como*

*vocês o identificariam no grupo dos condutores?* Surgiram então, muitos nomes e expressões, mas não se lembraram do termo “supercondutor”. Porém, pareceram assimilar adequadamente depois que eu falei. Expliquei que assim como o nióbio, outros materiais também apresentam essa “anomalia” no gráfico da resistividade a baixas temperaturas, e, portanto, tornam-se supercondutores.

Para concluir, já no final da aula, distribuí a todos a última ficha com o texto<sup>25</sup> “A ‘Descoberta’ da Supercondutividade” e propus a leitura em voz alta. O texto atraiu a atenção e a leitura foi feita com boa participação. O sinal soou e todos foram dispensados.

Pelas discussões estabelecidas entre os alunos, considerei que o objetivo da aula, com respeito à formação do conceito de Supercondutividade, foi satisfatoriamente atingido. Isso poderia ser tomado como sinal de reformulação de esquemas por parte dos alunos, o que os conduz progressivamente à formação de conceitos dentro do tema estudado.

### **Aula 3.2 – Turma 301 (06/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica.**

Esse era o último período da manhã e os alunos estavam cansados. Cheguei à sala às onze horas em ponto. A professora do período anterior estava saindo e antes que a turma se dispersasse, entrei, cumprimentei e tratei logo de recordar a aula anterior e de recolher a atividade que ficara para ser feita em casa.

Perguntei quais conceitos vistos na aula anterior eles lembravam, e os mais citados foram “resistência”, “rede cristalina” e “resistividade”. Questionei sobre *o que é resistividade e em que difere de resistência elétrica* e as respostas surgiram fragmentadas: *“resistividade é do material”, “resistividade tem a ver com a distribuição dos átomos dentro do metal”, “resistência depende da resistividade”...*

---

<sup>25</sup> Texto de própria autoria no qual são brevemente relatadas as circunstâncias em que Kamerlingh Onnes, no ano de 1911, depara-se com resistividade nula em baixas temperaturas, acontecimento considerado como o nascimento dos estudos sobre o fenômeno da Supercondutividade, que por H. K. Onnes foi inicialmente denominado de Supracondutividade. O texto pode ser visto no Apêndice D.

Questionei sobre o que contribui para a resistividade e a resposta demorou. Quem respondeu consultou o caderno e leu parte do texto que continha essa informação. Visto que esse período era, na prática, mais curto que os demais, não pude explorar longamente o debate de ideias.

Entreguei logo a primeira ficha de gráficos e encaminhei a atividade. Vendo que a turma estava lenta, fui induzindo a análise com questionamentos. A interpretação dos primeiros dois gráficos foi satisfatória, pois perceberam o principal: *“aumentando a temperatura, aumenta também a resistividade”* conforme as palavras de um aluno.

Ao solicitar que descrevessem como imaginavam a continuação dos gráficos se considerássemos temperaturas mais baixas, a grande maioria afirmou que a curva do gráfico tenderia a zero. Mas dois alunos afirmaram que a curva terminaria em algum valor negativo. Nesse instante, provoquei-os a interpretar o que seria uma resistividade nula e o que seria uma resistividade negativa. Para a primeira, surpreendentemente, uma aluna afirmou *“significa que não vai ter mais corrente”* e obteve apoio de diversos colegas. Outro afirmou *“não vai mais ter íons na rede e a energia vai poder passar sem problemas”*, sendo logo criticado por um menino que disse: *“Mas a rede é feita de íons. Se não tem mais íons é como se não tivesse mais rede...”*. Complementei questionando *“qual o problema de não ter mais rede?”* Uma menina falou: *“Sim, se não tem mais rede significa que o material foi pro espaço!”* Concordei e questioneei sobre a segunda possibilidade (resistividade negativa) e ninguém soube dizer nada. Foi então que busquei resgatar o significado de resistividade e os fatores que a compõem, assim como o conceito de corrente elétrica. Dessa forma, perceberam que não faria sentido valores negativos no gráfico.

Questionei-os sobre se os elétrons “congelariam”. A pergunta dividiu a turma entre *sim* e *não*. Então, questioneei: *que reflexos isso teria para a resistência elétrica/resistividade caso os elétrons congelassem?* Percebi que a pergunta confundiu os alunos, mas um aluno se expressou conforme era esperado, dizendo: *“Se os elétrons congelassem, a resistência ficaria muito grande.”* Pelo avançado da

hora, fui ao quadro e esbocei o gráfico representando as duas situações (resistividade nula e resistividade elevada) comentando as duas ideias.

Em seguida entreguei os gráficos que mostravam o que ocorre para o cobre e para o ouro e solicitei que tentassem explicar. Ninguém respondeu. Expliquei, então, e submeti ao julgamento dos alunos questionando se fazia sentido. Todos concordaram, exceto três ou quatro que não estavam dispostos a participar. *“Mas então vejam o que ocorreu com o nióbio”* eu falei, entregando o último gráfico.

Faltavam dez minutos para tocar o sinal e eu precisei acelerar. Discutimos rapidamente o que acontece e questionei-os quanto à condução da corrente elétrica, se melhorava ou não resfriando o nióbio e, por fim, que nome sugeririam para identificar tal comportamento desse material. Foi então que alguém gritou “supercondutor”. Os colegas reagiram com surpresa e manifestaram expressões como: *“é mesmo!”*, *“que legal!”*, *“ah, é por isso?”*...

Rapidamente distribuí o texto como fechamento da aula e orientei que lessem em casa e trouxessem possíveis dúvidas para a próxima aula.

De modo geral, nessa turma o tema se desenvolveu de forma semelhante ao da turma 303, com o diferencial de que os alunos chegaram por si próprios ao conceito de “supercondutor”, o que demonstrou, a nosso ver, que a atividade teve o efeito desejado. Houve boa participação dos alunos, com confronto de ideias, acionando as ideias e os esquemas de cada um.

### **Aula 3.3 – Turma 302 (07/11/2014, sexta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica.**

Ao entrar na sala de aula, os alunos ainda retornavam do intervalo. Enquanto acomodava meu material sobre a mesa, eles foram chegando. Pedi ao líder da classe que recolhesse a atividade que ficara pendente da aula anterior e me entregasse. Nem todos a tinham feito. Enquanto se acomodavam fui dialogando de forma a recordarem o que fora visto na aula anterior. Relembramos de conceitos como resistividade, rede cristalina, suas impurezas e imperfeições. Alguns não faziam distinção entre resistividade e resistência elétrica e também estavam

confusos sobre a relação desta com as características geométricas do condutor. Então, revisamos isso também.

Em seguida, entreguei a todos os gráficos da resistividade *versus* temperatura do cobre e do ouro solicitando que os interpretassem em voz alta. Porém, novamente, como nas turmas anteriores, essa atividade precisou ser conduzida com perguntas minhas, pois apresentavam dificuldades em ler e entender os gráficos. A turma estava bastante dispersa, visto que para eu poder desenvolver essa aula foi preciso que adiassem uma confraternização que haviam combinado com a professora de Educação Física, para esse mesmo período. Por vários momentos precisei chamar a atenção do grupo, que insistia em conversar sobre outros assuntos.

Nesse dia foi difícil fazer uma aula reflexiva/investigativa, pois, na maior parte do tempo, eu precisei expor o conteúdo. Só assim eles prestavam atenção e acompanhavam, e esse foi o ritmo durante a análise de todos os gráficos. Não houve novidades na fala dos alunos. Por ter sido uma aula mais expositiva do que dialogada, houve tempo para a leitura do texto final “A ‘Descoberta’ da Supercondutividade” e também fazer alguns comentários.

Para finalizar, desejei-lhes um bom final de semana e fiz votos de que para a semana seguinte eles estivessem mais dispostos e concentrados.

Nessa turma senti maior dificuldade na condução da atividade já que o interesse dos alunos estava voltado à confraternização que não puderam fazer, mas foi possível desenvolvê-la. Talvez por falta de um maior envolvimento dos alunos, não obtive indícios do tipo de conceitualização que os alunos estavam formando. Nas três turmas ficou evidenciada a dificuldade na interpretação dos gráficos, ainda que na turma 303 a dificuldade fora menor em função de ser uma turma mais dedicada. Penso que essa dificuldade estaria relacionada à forma como as informações estavam dispostas no gráfico, que talvez deveriam estar mais explícitas.

Porém, entendo que essa atividade representou um tipo de situação que possibilitou o desenvolvimento/modificação de esquemas. Abaixo, são mostrados alguns exemplos de gráficos trabalhados.

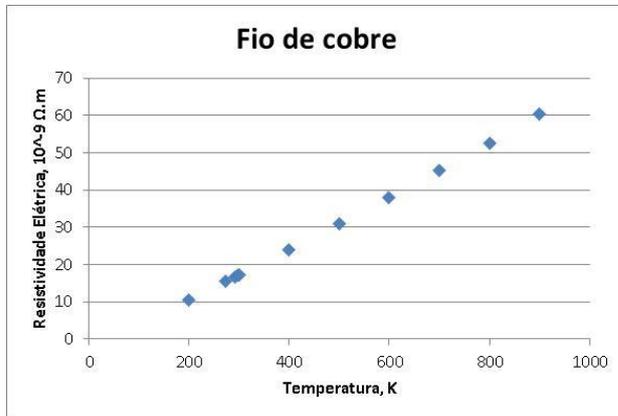


Figura 1.1: Gráfico da Resistividade do cobre para temperaturas acima de 200 K.

Fonte: <http://hypertextbook.com/facts/index-topics.shtml>.

Acesso em: 05/10/2014.

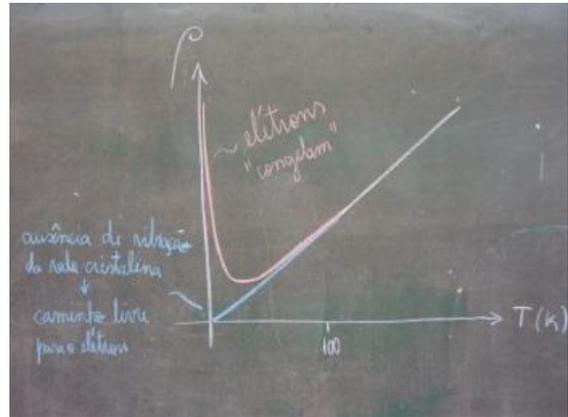


Figura 1.2: Gráfico esboço no quadro negro mostrando possíveis tendências para temperaturas próximas do zero absoluto.

Fonte: elaborado pelo autor.

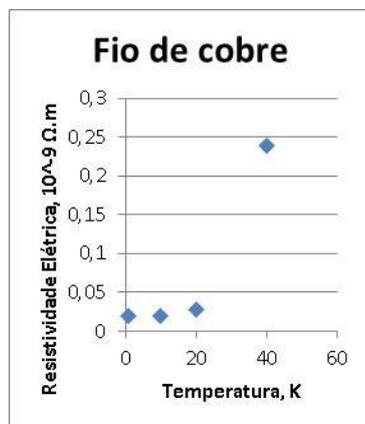


Figura 2.1: Gráfico da Resistividade do cobre para temperaturas próximas do 0 K.

Fonte: <http://hypertextbook.com/facts/index-topics.shtml>.

Acesso em: 05/10/2014.

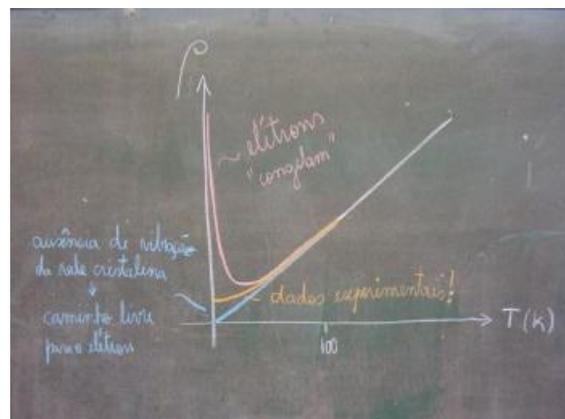


Figura 2.2: Gráfico esboço no quadro negro mostrando o padrão normal para temperaturas próximas do 0 K.

Fonte: elaborado pelo autor.

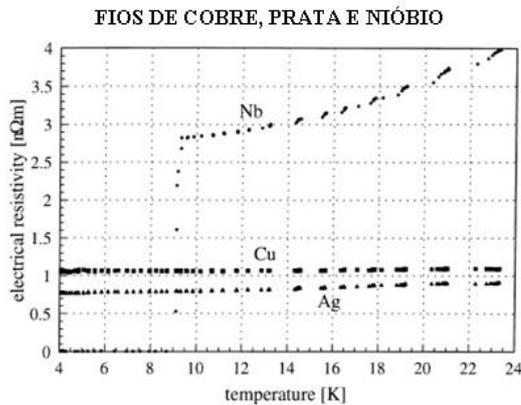


Figura 3.1: Gráfico da Resistividade mostrando a diferença de comportamento para o nióbio.  
Fonte: <http://www.mpie.de/>.  
Acesso em: 06/10/2014.

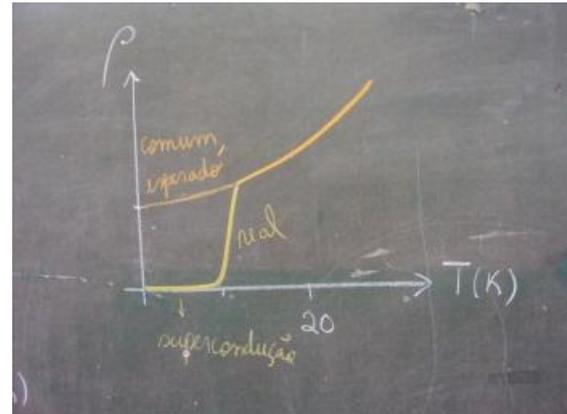


Figura 3.2: Gráfico esboço no quadro negro ressaltando o comportamento resistivo de um material comum e de um material que apresenta supercondutividade.  
Fonte: elaborado pelo autor.

#### **Aula 4.1 – Turma 301 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Indução Eletromagnética e Diamagnetismo.**

Era o primeiro horário do turno da manhã e os alunos estavam dispersos, conversando nos corredores. Ao entrar na sala de aula, cumprimentei os presentes e logo me pus a organizar o material a ser utilizado (instalar projetor, notebook e testar os arquivos). Enquanto isso, os alunos foram se acomodando e observando que havia a presença da minha Professora Orientadora, que também se acomodou na sala de aula, próxima ao fundo e junto deles. Demorei quase dez minutos até deixar tudo pronto. Comecei apresentando a Professora e justificando sua presença nessa e na aula seguinte (eu já os havia informado que isso aconteceria em algum momento).

Por alguns minutos, fui resgatando e revisando o que fora discutido nas aulas anteriores. Comecei perguntando *que assunto estávamos estudando*, o que foi prontamente respondido: “supercondutividade”. Então, fui dialogando e perguntando: *a resistência elétrica de um corpo condutor depende de suas características geométricas e também do...?* Esperava que a resposta dos alunos fosse “do material de que é feito”. Fiz outra pergunta: *este aspecto reúne uma série de fatores, como...?* Esperava a resposta: “o tipo de rede cristalina, impurezas, quantidade de elétrons livres, a temperatura”. Frisei que a *contribuição desses fatores todos é*

*representada por uma “nova” grandeza física, chamada ...?* A resposta esperada era “resistividade”. Em todos estes questionamentos e reflexões os alunos contribuíram com a resposta esperada, o que foi importante para o prosseguimento da aula.

Recordamos os efeitos do calor na rede cristalina e a implicação da temperatura na resistência/resistividade elétrica, mencionando os gráficos que havíamos analisado na aula anterior. A participação da classe se dava oralmente complementando minhas frases e foi boa. Continuei questionando: *a supercondutividade era uma condição assumida por alguns materiais ou era uma classe de materiais? De que forma ela fora percebida pela primeira vez?* Embora alguns tivessem respondido ser uma classe de materiais, logo perceberam que se tratava de uma condição, já que o fenômeno ocorre apenas em determinadas temperaturas. Para dar maior sentido e objetivo à aula, provoquei-os a pensar sobre: *em relação à condução de corrente elétrica, o que há de especial no estado supercondutor? Seria o supercondutor um condutor perfeito? Como seria um condutor perfeito e um condutor ideal? Qual a principal característica que ele deveria apresentar?*

As respostas e opiniões dividiram-se, pois alguns disseram ser um condutor perfeito, outros discordaram ou não souberam responder. Pedi para que mantivessem essas questões sempre presentes e propus que, juntos, ao longo das próximas duas aulas, fôssemos elaborando uma resposta. Isso foi uma motivação para que acompanhassem às aulas. Então, busquei recordar o que tínhamos estudado semanas antes acerca das fontes de magnetismo e o famoso experimento de Oersted. Como já tínhamos discutido o funcionamento de eletroímãs, questionei como poderíamos construir um e pô-lo em funcionamento utilizando um fio condutor, pilha e prego que eu disponibilizara na minha mesa, além de alguns clips para papel.

Nesse momento, muitos começaram a falar ao mesmo tempo e a dar suas explicações. Fui executando com o material disponível as instruções que eles me passavam literalmente, mas forjando alguma falha operacional. Isso os provocava a querer mostrar como era. Pedi a um voluntário que fosse até a frente e demonstrasse aos colegas.

Assim, um aluno levantou-se e fez a demonstração, o que agradou a todos! Problematizei a situação questionando sobre a importância do prego naquele sistema e *de que forma poderíamos aumentar o “poder” daquele eletroímã. “Fazendo mais voltas com o fio”*, falaram vários ao mesmo tempo. Mas alguém também lembrou *“fazendo passar mais corrente”*, o que me levou a indagar se fazia sentido tudo o que estavam dizendo. Como pareciam seguros disso, mostrei que o eletroímã atraía mais clips quando utilizávamos duas pilhas, que proporcionam maior corrente elétrica, em lugar de apenas uma. Assim, encerramos essa discussão.

Passei no quadro e questionei sobre os principais grupos magnéticos e suas características, que também já havíamos estudado semanas antes, escrevendo tudo o que os alunos me retornavam. No final, frisei o caráter repulsivo dos materiais diamagnéticos e para ilustrar convidei-os para ver o vídeo<sup>26</sup>: “O grafite que foge do ímã”, no qual os alunos puderam perceber claramente os comportamentos já estudados: ferromagnético do ferro, paramagnético do alumínio e diamagnético do grafite.

Dando continuidade à aula, questionei: *o que provocava o magnetismo observado no eletroímã da atividade anterior?* Uma resposta tímida saiu: *“a corrente”*. Concordei e, então, provoquei a imaginação da classe expondo a seguinte situação: *Se por meio de uma corrente elétrica pudemos obter magnetismo, será que o contrário pode acontecer também?* Essa pergunta lhes pareceu bastante confusa e isso me levou a esmiuçá-la. Não tínhamos estudado indução eletromagnética e nem discutido sobre o funcionamento de turbinas geradoras, mas os terceiros anos dessa escola havia cerca de um mês, tinham visitado<sup>27</sup> a Usina Hidrelétrica de Itaipu e, talvez por isso, um aluno lembrou corretamente das turbinas e citou-as como resposta à minha pergunta.

Então questionei: *como poderíamos testar tal hipótese?* Apresentei o que estava sobre minha mesa: um miliamperímetro analógico, uma bobina didática, um ímã e cabos condutores de ligação. Ficaram curiosos, mas sentiram dificuldades em

---

<sup>26</sup> Disponível no canal do Youtube “ABC” do Saber: [www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o](http://www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o), acessado em 11/10/2014.

<sup>27</sup> Prática habitual de saída de campo interdisciplinar do Colégio São Luiz Gonzaga, onde esta proposta foi aplicada.

propor algum experimento. Para auxiliá-los, recordei em conjunto com a turma o porquê do ímã (fonte de campo magnético), da bobina (concentrar o efeito) e do miliamperímetro registrar alguma corrente elétrica, se houvesse. A partir disso, começaram a surgir palpites. Como no experimento anterior, deixei livre para que voluntários se juntassem e fossem à frente da turma para testar suas ideias.

Esse foi um momento rico, pois através de discussões, tentativas, erros e colaboração de todos, chegaram à conclusão de que só surgiria corrente no circuito quando o ímã fosse introduzido ou retirado da bobina. Doutra forma não haveria corrente elétrica. *Olha! Se colocar mais ligeiro o ponteiro desvia mais*, disse um colaborador. Perguntei a todos o que significa o ponteiro voltar para o zero, obtendo como resposta *“não tem corrente”*. Então perguntei por que a corrente para? Apareceram respostas como: *“porque o ímã parou”* e *“por causa da resistência”*, entre as mais significativas. Provoquei: *E se a bobina fosse supercondutora?* Não houve respostas e eu também não insisti, em função da aula seguinte em que focaria essa questão.

Então, no quadro e com a ajuda deles, esbocei um esquema relacionando o sentido do movimento do ímã em relação à bobina, o tipo de polo magnético que era aproximado ou afastado e o desvio observado no ponteiro do miliamperímetro. Em seguida, aplicando a regra da mão direita (já conhecida dos alunos) procuramos perceber o comportamento diamagnético da bobina.

Porém, essa tarefa foi bastante difícil. Houve bastante confusão para distinguirem os campos magnéticos, indutor e induzido. Prevendo que isso pudesse acontecer e temendo que pudesse não ficar claro, convidei-os a ver os vídeos<sup>28</sup> “Tubo Antigravidade” (como ilustração e motivação) e “Lei de Lenz”. Porém, houve um problema de falha de leitura e o *software* travou e o primeiro arquivo não pôde ser exibido, enquanto o segundo ficou com som muito fraco. Perdi alguns minutos tentando consertar, mas não foi possível. Embora tudo tivesse sido testado antes, no momento falhou!

---

<sup>28</sup> “Tubo Antigravidade” disponível no canal “Manual do Mundo” do sítio Youtube: [www.youtube.com/watch?v=\\_p1oV6sVpo4](http://www.youtube.com/watch?v=_p1oV6sVpo4). Acesso em 11/10/2014.

“Lei de Lenz” disponível no sítio do Youtube: [www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc](http://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc). Acesso em 12/10/2014.

Apesar disso, houve ampla colaboração dos alunos, que espontaneamente se acomodaram e ficaram em silêncio e pudemos ver a ilustração e ouvir a explicação do fenômeno da indução eletromagnética que eram didaticamente expostos no vídeo. Ao final do vídeo, os alunos solicitaram que eu repetisse alguns trechos, o que fiz prontamente. Questionados sobre se haviam entendido a ideia da Lei de Lenz, balançaram a cabeça em gesto afirmativo. Então, ao encerrar a aula, frisei dizendo que a bobina reage ao movimento do ímã com uma corrente que gera um campo que dificulta o movimento do ímã. Assim, dispensei os alunos, desliguei os equipamentos e recolhi o material para transporte até a próxima turma e saí.

Percebi que as situações oferecidas nessa aula foram significativas e instigantes, pois os alunos, embora com alguma dificuldade, foram mobilizados a pensar e se envolveram nas discussões dos fenômenos tratados. Isso pode ter contribuído positivamente para a reformulação dos seus esquemas cognitivos.

#### **Aula 4.2 – Turma 302 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Indução Eletromagnética e Diamagnetismo.**

Parte dos alunos estava aguardando no lado de fora da sala, uma vez que eu chegara alguns minutos atrasado nessa aula. Ao verem-me chegar acompanhado pela Professora Orientadora, todos entraram e se acomodaram. Cumprimentei-os e tratei logo de instalar e ligar os equipamentos necessários para a aula. Demorei um pouco tentando verificar a causa da pane ocorrida anteriormente na leitura dos arquivos de vídeo. Decidi fazer isso na esperança de poder passar aos alunos todo o material preparado para a aula e também porque teriam dois períodos juntos nessa turma, o que possibilitaria compensar eventuais perdas de tempo. Percebi que o problema estava em meu computador portátil e que não seria tão facilmente resolvido ali. Então desisti de tentar melhorar. Entre o atraso na chegada e o tempo de organização inicial transcorreram cerca de dez minutos. Apresentei a Professora Orientadora que me acompanhava e também justifiquei sua presença nessa aula.

Para recordar conteúdos das aulas da semana anterior, lancei algumas perguntas para que fossem respondidas voluntariamente por quem se sentisse à

vontade. Aos poucos fomos recordando alguns conceitos (rede cristalina, impurezas, resistividade, relação com a temperatura, interpretação dos gráficos da aula anterior, em particular, do nióbio, que acusara a supercondutividade). Porém, novamente os alunos estavam pouco interativos, como na aula anterior o que, de certa forma, era uma característica da turma. Quando tocamos em temas vistos havia mais tempo, mais exatamente magnetismo em ímãs e correntes elétricas, a participação começou a aumentar.

Na dinâmica de discussão e demonstração do funcionamento de um eletroímã, embora muitos opinassem, não houve voluntários para praticá-la e demonstrar aos colegas. Foi necessário que eu indicasse um aluno. Discutimos formas de tornar o eletroímã mais “forte” e, novamente as alternativas de ampliar o número de voltas do fio condutor no prego e de intensificar a corrente elétrica surgiram, ainda que com alguma demora. Então, testamos o “poder” do ímã com uma e depois duas pilhas, corroborando o que haviam dito. Distraidamente, ao invés de recordar os principais grupos magnéticos estudados, nesse ponto acabei invertendo a sequência planejada e propus que pensassem no inverso, na possibilidade de um experimento no qual pudéssemos obter corrente elétrica a partir de um campo magnético. Isso lhes pareceu estranho. Ninguém se lembrou das turbinas de geração que haviam conhecido em visita à Itaipu. Precisei detalhar o experimento do eletroímã e propor que construíssem um circuito elétrico utilizando bobina, miliamperímetro e fios de conexão que eu havia acomodado junto a um ímã sobre uma mesa. Foi então que alguns palpites começaram a surgir e para pô-los à prova, convidei uma aluna para a demonstração. Deixei-os livres e apenas observei a aluna executando o que ela pensava que seria o correto, bem como o que os colegas diziam tentando ajudá-la. Após alguns minutos, concluíram que apenas o movimento de aproximação ou afastamento dos polos do ímã ao centro do enrolamento gerava com maior eficiência corrente no circuito.

Parabenizei-os pela conclusão e dirigi-me ao quadro para o próximo passo: investigar a relação entre o tipo de polo magnético, o movimento relativo e o sentido da corrente induzida. A partir de minhas perguntas, um grupinho testava e relatava sua observação que eu anotava no quadro, organizando uma sequência que poderia nos levar a identificar um comportamento de oposição entre os campos magnéticos

da bobina e do ímã permanente. Infelizmente, para essa turma também tal objetivo não foi fácil de alcançar. Em um primeiro momento, apenas alguns poucos conseguiram perceber o fenômeno. Então, para tranquilizá-los falei que veríamos um vídeo (Lei de Lenz) em que tudo isso seria melhor apresentado, mas antes precisaríamos recordar mais um tópico, a classificação magnética dos materiais (que eu havia pulado).

Depois disso, passei a enfatizar a característica diamagnética de repulsão entre campos magnéticos, indutor e induzido e passamos para o vídeo<sup>29</sup> “Lei de Lenz”. Optei por não passar “O grafite que foge do ímã” e “Tubo Antigravidade” por ter apresentado problemas na turma anterior. Mas ao abrir o vídeo “Lei de Lenz” este apresentou problemas logo nos cinco primeiros segundos. Então interrompi a aula para buscar, junto à direção, um computador substituto, que normalmente fica à disposição dos professores, mas que, nesse dia, demorou para ser conseguido e, além disso, estava com problemas na saída do som. Os alunos, nesse momento, foram muito compreensivos e colaboraram grandemente fazendo silêncio, o que permitiu que esclarecessem o que antes ficara confuso.

Devido aos contratemplos, muito tempo se perdeu (cerca de vinte e cinco minutos) e, por conta disso, essa aula foi abreviada, encerrando com o vídeo cinco minutos após o sinal.

Não foi possível, nessa turma, desenvolver a diversidade planejada de situações em função das características da turma e dos contratemplos já expostos. Mesmo assim, foi possível notar que a aula agregou conhecimento em especial na questão da indução eletromagnética.

---

<sup>29</sup> Vídeo “Lei de Lenz” disponível no sítio do Youtube: [www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc](http://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc). Acesso em 12/10/2014.

**Aula 4.3 – Turma 303 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min)  
– Indução Eletromagnética e Diamagnetismo.**

Essa foi a última aula daquela manhã. Os alunos receberam-me na porta da sala com entusiasmo. Alguns estudantes se manifestaram ao pé do ouvido, dando-me incentivos e lamentando os problemas ocorridos nas turmas anteriores (conversavam entre si durante o intervalo), o que me confortou e deu novo fôlego para mais uma aula.

Enquanto organizava o material e ligava os equipamentos, os alunos foram entregando a atividade pendente da aula 2.3 e se acomodando. Estava preocupado em cumprir todas as atividades planejadas e, por essa razão, procurei dar um ritmo um pouco maior nessa turma, que era mais ativa e participativa.

Após apresentar a Professora Orientadora e justificar sua presença, fiz uma rápida recordação das aulas anteriores. No geral, os alunos se saíram bem, ocorrendo extensas exposições por parte de alguns. Uma aluna falou, fazendo um resumo do texto recebido na aula anterior sobre a “descoberta” da supercondutividade. Alguns comentários bastantes consistentes decorrentes da discussão feita sobre os gráficos de resistividade e temperatura também foram feitos. Então, recordamos nosso estudo sobre o magnetismo em ímãs e correntes elétricas, com menos questionamentos de minha parte do que os feitos nas turmas anteriores e com mais discurso. Meu objetivo era chegar logo no eletroímã e observar o desenvolvimento da turma.

Questionei: *de que forma devo formar um circuito de modo a por em funcionamento o eletroímã utilizando os materiais dispostos em minha mesa?* Para agilizar, pedi para que um voluntário demonstrasse para todos e, após alguns instantes, um aluno com alguma destreza, rapidamente ligou o eletroímã e o aproximou de diversos objetos sobre as classes dos colegas. Perguntados sobre como intensificar o poder do eletroímã, as respostas esperadas logo surgiram. No quadro, pedi a contribuição deles para listar e caracterizar as principais classes de magnetismo, o que também foi fácil e rápido, embora essa intensa participação viesse apenas de parte da turma.

Alguns poucos alunos apenas acompanhavam e faziam anotações em seus cadernos. Para facilitar, frisei sobre o diamagnetismo como sendo a repulsão de um ímã a alguns materiais, citando a água e o cobre como exemplos. Em seguida, exibi o vídeo<sup>30</sup> “O grafite que foge do ímã”, que desta vez não deu problemas técnicos. Após, desafiei-os a propor um experimento que pudesse mostrar o contrário do que tínhamos observado no eletroímã, caso fosse possível. Esperando que se dessem conta dos geradores, já que haviam visitado na hidrelétrica, isso só ocorreu algum tempo depois. Alguns chegaram a afirmar não ser possível obter eletricidade a partir do magnetismo. Outros disseram que era possível, mas não faziam ideia de como.

Mostrei um miliamperímetro, uma bobina, um ímã permanente e fios para conexão afirmando que era possível fazer o que eu insinuara havia pouco utilizando aquele material. Solicitei que algum voluntário montasse um circuito com aqueles componentes e investigasse, com a ajuda dos colegas. O voluntário logo surgiu, muitos colegas se juntaram ao redor da mesa e todos começaram a trabalhar. Porém, concluíram que bastava apenas mover o ímã nas proximidades da bobina para obter eletricidade. Não perceberam por si que o movimento específico de introduzir e depois retirar o ímã de dentro do enrolamento gerava mais corrente. Então sugeri que fizessem o teste e relatassem o que viam, enquanto eu escrevia no quadro as observações.

Ao final, analisando as anotações e utilizando a regra da mão direita, os alunos perceberam, com menos dificuldades que nas turmas anteriores, que a reação na bobina era gerar um campo magnético tal que sempre dificultava o movimento do ímã. Comparei esse fato com o diamagnetismo, mas percebi que os alunos não assimilaram muito bem a informação.

Dado que restavam cerca de cinco minutos para o final, convidei-os a ver o vídeo<sup>31</sup> “Lei de Lenz”, deixando de lado “Tubo Antigravidade”. Todos acompanharam em silêncio, mas alguns já estavam com a atenção voltada para o pátio, uma vez

---

<sup>30</sup> Disponível no canal do Youtube “ABC” do Saber: [www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o](http://www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o), acessado em 11/10/2014.

<sup>31</sup> Vídeo “Lei de Lenz” disponível no sítio do Youtube: [www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc](http://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc), acessado em 12/10/2014.

que a movimentação para a saída estava iniciando. Então, passei o endereço *web* para os interessados verem em casa. O vídeo ainda não tinha terminado quando tocou o sinal e precisei liberar os alunos.

Embora os alunos já demonstrassem certo cansaço, foi possível obter retorno significativo nas reflexões propostas pelas situações apresentadas. Sem dúvida o melhor resultado dessa aula ocorreu na turma 301, onde os alunos se envolveram mais intensamente com as situações propostas.

### **Aula 5.1 – Turma 302 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Efeito Meissner**

Nessa turma, a aula ocorreu imediatamente após a aula sobre a indução eletromagnética, uma vez que se tratava de dois períodos contínuos. Como recém tínhamos visto o vídeo da Lei de Lenz, discutimos algumas cenas em que os espectros dos campos magnéticos do ímã permanente e da bobina estavam representados juntamente com as indicações dos sentidos do movimento relativo e da corrente elétrica. *Reparem no espectro do campo magnético que surge na bobina: isso sugere que o movimento do ímã é facilitado ou dificultado?* perguntei à classe. Timidamente alguns alunos arriscaram afirmar “*dificultado*” enquanto outros, quase sem pensar responderam: “*facilitado*”. Então, retomei a explicação do que ocorre naquele sistema, recordando o experimento que juntos havíamos feito na aula anterior e reforcei a ideia de que o movimento do ímã é dificultado, relacionando esse fato a uma reação diamagnética.

Em relação à corrente que surge na bobina, questionei se ela acabava ou se se mantinha e se sabiam justificar o fato. Os alunos pensavam, mas foi necessário ajudá-los a perceber que a corrente não se mantinha. Mas houve percepção de que a resistência elétrica do condutor contribuiu para isso. Propus que imaginassem a bobina constituída de fios sem resistência elétrica e que descrevessem a corrente induzida. Tive a impressão de que para eles pareceu óbvio que a corrente não cessaria. Deixando a discussão em aberto, convidei-os a ver o vídeo<sup>32</sup> “Magnetic

---

<sup>32</sup> “Magnetic Levitation” disponível no sítio do Youtube: [www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms](http://www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms), acessado em 08/10/2014.

Levitation”, uma demonstração da levitação passiva utilizando supercondutor. Tudo deu certo com a projeção. Os alunos acompanharam atentamente, observando que em temperatura ambiente não ocorria a interação do magneto com a pastilha supercondutora. Impressionaram-se quando perceberam a mudança radical na interação entre os objetos, vendo o ímã levitar sobre a peça supercondutora de YBaCuO resfriada. De fato, o fenômeno impressiona.

Em determinado momento o magneto foi puxado para cima e, como por encanto, a peça cerâmica também se elevou, sem que nada visível a tocasse. Houve manifestações de admiração e espanto. Questionados sobre o porquê da necessidade do banho em nitrogênio líquido, uma aluna respondeu “*pra atingir a temperatura crítica do supercondutor*”, parecendo lembrar da temperatura crítica que tínhamos discutido na aula 2.1.

Após alguns segundos, o ímã foi deixando de levitar e pousou sobre a cerâmica. *Ops! O que aconteceu?* – perguntei. “*O ‘negocinho’ esquentou*”, respondeu um aluno. Pereceu ter ficado muito claro que a supercondução identifica um estado do material e não um tipo de material. Pediram-me para repetir o vídeo mais de uma vez. Solicitei que pensassem numa possível explicação para justificar o que estava ocorrendo. Então percebi que não estavam fazendo relação com o que havíamos visto. Diante disso, desenhei no quadro o sistema ímã-supercondutor e solicitei que descrevessem o espectro magnético do ímã quando não havia levitação. A maioria descreveu que as linhas de indução atravessavam a pastilha cerâmica. Então, questionei de que forma seria possível aceitarmos o ímã levitando sobre a pastilha e logo alguém falou: “*eles estão se repelindo!*”.

Através da construção colaborativa, com meu auxílio, e uma figura no quadro, conseguimos chegar à representação das linhas de indução do ímã se distorcendo, contornando a pastilha cerâmica como se formasse uma cápsula magnética aprisionando o supercondutor em seu interior. Identifiquei esse fenômeno como “Efeito Meissner” e rapidamente a classe fez anotações no caderno.

Essa ideia de encapsulamento magnético ajudou a explicar por que o supercondutor ficou solidário ao ímã quando este foi suspenso. Em seguida, vimos o

vídeo<sup>33</sup> “Superlevitação – supercondutor”, que gerou ainda mais espanto, admiração e curiosidade entre os alunos. As cenas mostravam um disco de cerâmica supercondutora resfriada abaixo da temperatura crítica percorrendo uma trilha magnética circular, levitando a sete centímetros sobre ela. Houve euforia ao ver que o móvel não saía da trilha e era capaz de ser afetado por irregularidades nela, como uma pequena lombada. Porém, pareceu-me que estavam muito passivos diante das cenas e, por isso, provoqueei-os perguntando se *achavam aquilo normal; um corpo simplesmente flutuando, movendo-se ao longo de um caminho curvo sem tocar em nada?*

Para ficar ainda mais empolgante, no vídeo aparecia uma cena de dupla levitação, na qual dois discos supercondutores percorriam a mesma trilha em altitudes diferentes e em sentidos opostos, cruzando um pelo outro sem nenhuma dificuldade. Essas imagens levaram os alunos “à loucura”! Desafiando a imaginação, questionei se aquilo não poderia se tornar a tecnologia dos meios de transporte do futuro, o que gerou alvoroço e muitos comentários sobrepostos.

Como última atividade da aula, passamos a discutir se supercondutores poderiam ser tratados como *condutores perfeitos*, recordando o questionamento feito no início da aula anterior. Então, para refletir, perguntei sobre que característica principal deveria ter um condutor para que fosse um condutor perfeito, focando apenas na questão da resistência elétrica. Os alunos responderam que “*não deve ter resistência à passagem dos elétrons*”. A partir da resposta, comparamos com o supercondutor e a dúvida se instalou. Então, pedi para que acompanhassem atentamente a sequência de slides<sup>34</sup> que eu preparara, na qual alguns testes imaginários foram representados a partir dos conhecimentos teórico e experimental sobre os dois sistemas.

Solicitei que relatassem quando percebessem alguma diferença entre eles. Lembrei que os supercondutores que havíamos visto nos vídeos anteriores, ao aquecerem acima de suas temperaturas críticas, perdiam todas as suas

---

<sup>33</sup> “Super Levitação – supercondutor” disponível no sítio do Youtube:  
[www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZYE](http://www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZYE), acessado em 08/10/2014.

<sup>34</sup> Esta sequência de slides faz parte do produto educacional.

propriedades magnéticas. A cada slide<sup>35</sup> eu fazia alguns comentários destacando alguns detalhes nas imagens mostradas para ajudar os menos atentos.

Slide 1 – “Primeiro Experimento”, expliquei que as amostras, inicialmente em temperatura ambiente e estável, seriam submetidas a um campo magnético externo.

Slide 2 – visualização das amostras sem o campo.

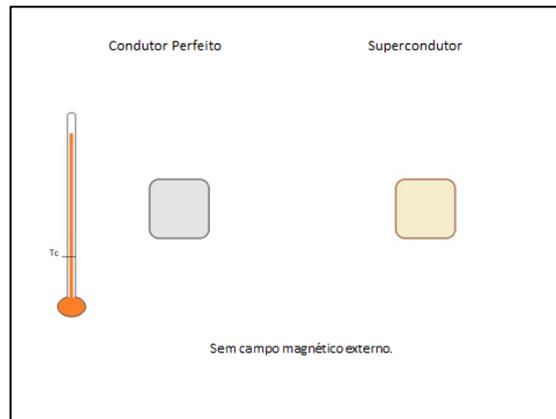


Figura 4: Slide 2 utilizado na Aula 5.1.

Slide 3 – Campo aplicado sobre as amostras, ressaltando o que ocorre no interior de cada uma.

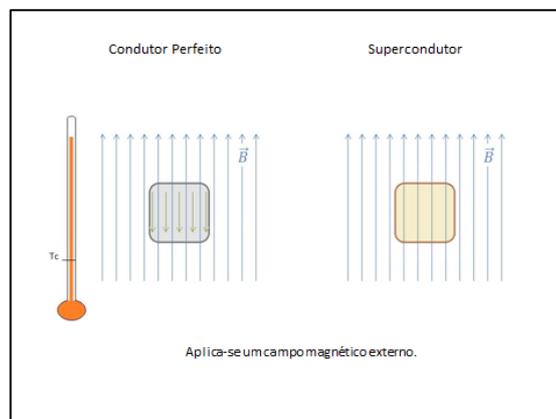


Figura 5: Slide 3

Comentei que o condutor perfeito reagiria impondo um campo magnético intrínseco oposto ao aplicado, assemelhando-se ao que tínhamos analisado com a bobina em aula anterior.

Slide 4 – Resultado do campo externo aplicado, ressaltando que no condutor perfeito as linhas de indução ficariam distorcidas para fora, enquanto no supercondutor nada ocorre (supostamente o supercondutor está em temperatura acima da temperatura crítica).

<sup>35</sup> Apêndice G.

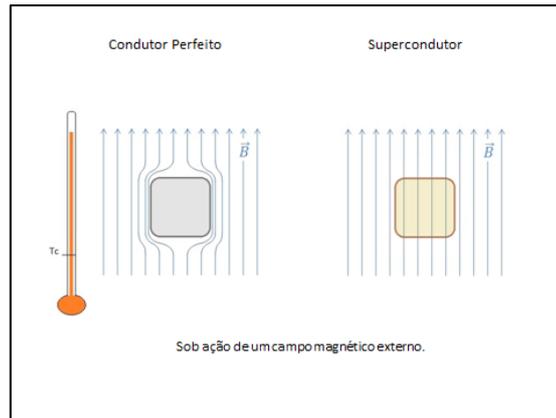


Figura 6: Slide 4

Slide 5 – Campo externo sendo suprimido, ressaltando a reação do condutor perfeito e a passividade do supercondutor.

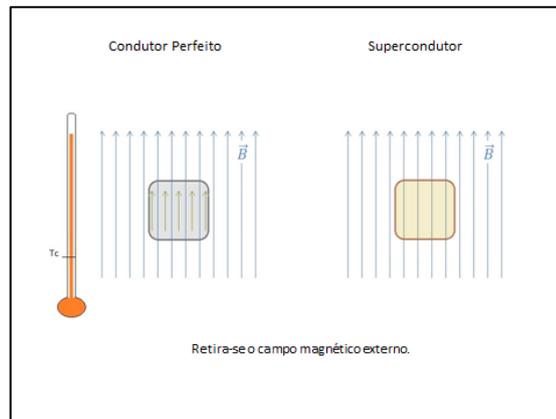


Figura 7: Slide 5

Slide 6 – Na ausência de campo magnético externo, os dois sistemas seriam semelhantes.

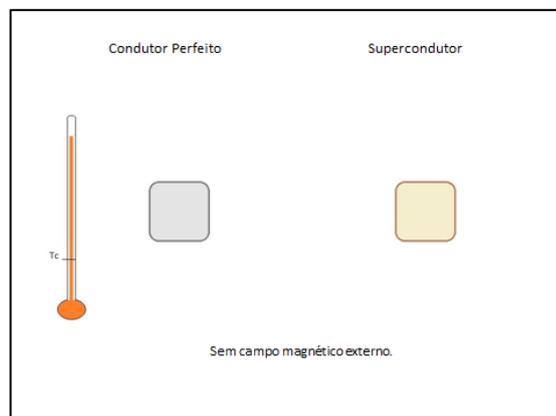


Figura 8: Slide 6

Slides 7 ao 11 – Resfriamento das amostras até abaixo da temperatura crítica ( $T_c$ ) do supercondutor, sem campo externo aplicado. Ao atingir  $T_c$ , questionei: *o que tal*

*temperatura significa?* Alguns alunos responderam, seguros, que era a temperatura em que o material se tornava supercondutor.



Figura 9: Slide 7

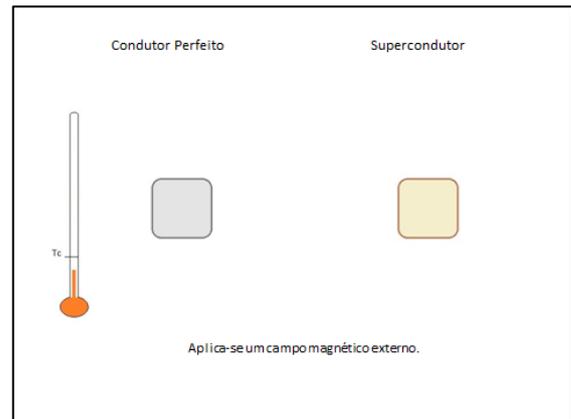


Figura 10: Slide 11

Slide 12 – Aplicação de campo magnético às amostras com temperatura inferior à  $T_c$ , ressaltando a distorção das linhas de indução nos dois sistemas.

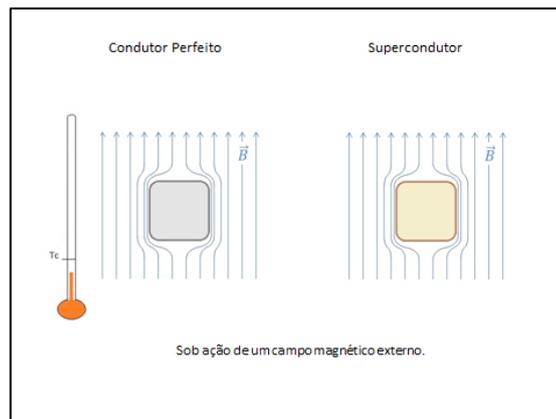


Figura 11: Slide 12

Slide 13 – Fim do experimento mental, com a supressão do campo externo em temperatura inferior à  $T_c$  ressaltando que as amostras se assemelham entre si e aparentam não ter nenhuma propriedade magnética.

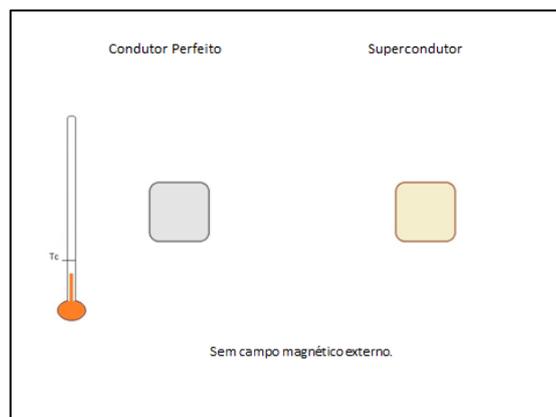


Figura 12: Slide 13

Slide 14 – “Segundo Experimento”, expliquei que as amostras, agora submetidas a um campo magnético externo estável e permanente, seriam resfriadas desde a temperatura ambiente até ficar abaixo de  $T_c$ .

Slides 15 a 18 – Resfriamento das amostras imersas em campo magnético estável, ressaltando que nada ocorre.

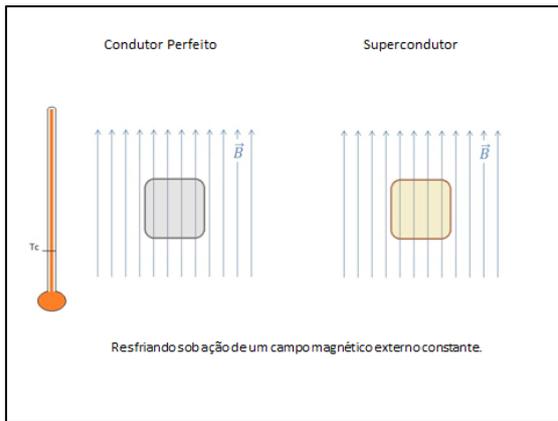


Figura 13: Slide 15

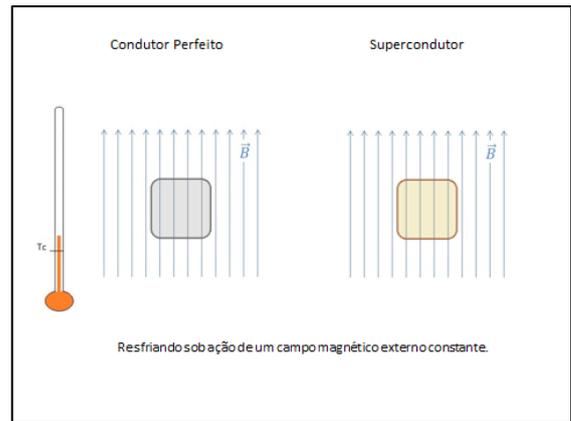


Figura 14: Slide 18

Slide 19 – Distorção das linhas de indução, desviando para fora do supercondutor e nenhuma ocorrência no *condutor perfeito* no instante em que  $T_c$  fosse alcançada.

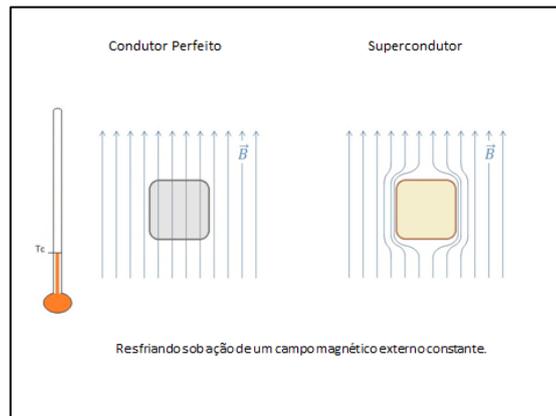


Figura 15: Slide 19

Slides 20 e 21 – Temperatura baixa para valores menores que  $T_c$ , não ocorrendo alterações importantes.

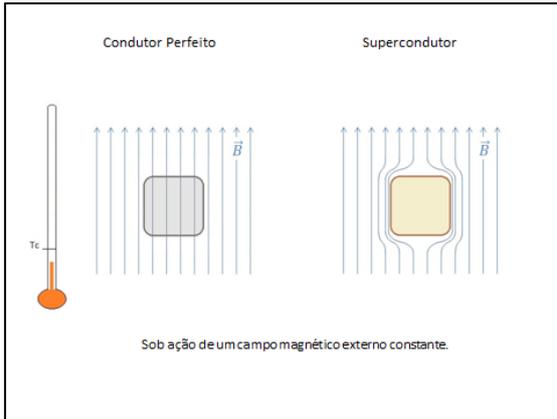


Figura 16: Slide 20

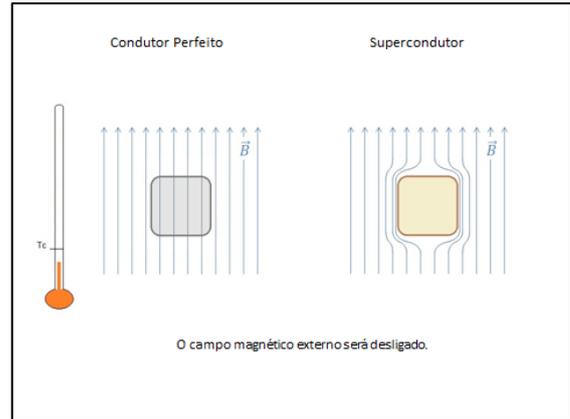


Figura 17: Slide 21

Slide 22 – Fim do “segundo experimento” com a supressão do campo magnético externo, estando a temperatura inferior a  $T_c$  e obtendo, como resultado, campo intrínseco no condutor perfeito e nada ocorrendo no supercondutor. Questionados sobre *o que acontecera com o condutor perfeito*, foram unânimes em exclamar, surpresos: *“ficou magnetizado!”*, o que me deixou muito satisfeito.

Retomei o slide 19 e questionei se o que viam lembrava algum nome e, com satisfação, pude ouvir que muitos mencionaram o *“Efeito Meissner”*.

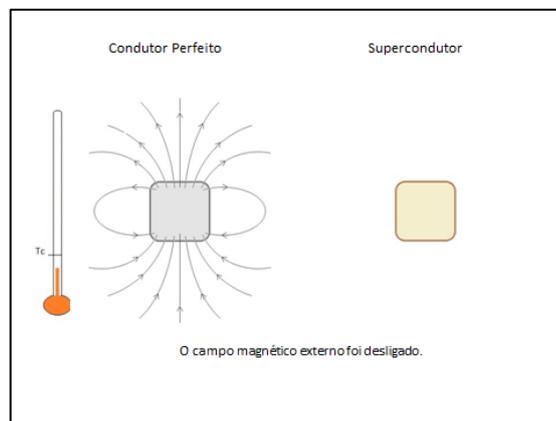


Figura 18: Slide 22

Slide 23 – Final da apresentação, com a questão: *E então, supercondutor comporta-se como condutor perfeito?*

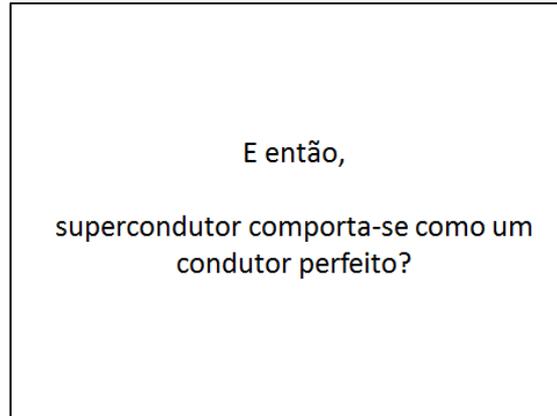


Figura 19: Slide 23

Após a apresentação dos slides, a resposta pareceu óbvia para a classe, que entendeu serem coisas diferentes. Então encerrei a aula afirmando que supercondutores não são condutores perfeitos e que condutores perfeitos são idealizações, que não existem na prática.

As estratégias utilizadas nessa aula mostraram-se bastante efetivas nessa turma. Os vídeos apresentados foram bastante provocadores fazendo os alunos elaborarem relações com o que fora trabalhado nas aulas até o momento. Por se tratar de uma turma mais dispersa, com mais dificuldades de aprendizagem, ela surpreendeu com as conclusões manifestadas.

### **Aula 5.2 – Turma 301 (12/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Efeito Meissner**

Rapidamente instalei os equipamentos enquanto os alunos aproximavam-se interessados e diziam ter gostado da aula anterior. Recapitulei o que havíamos visto, recordando a possibilidade de produzirmos corrente elétrica através de um campo magnético, mas que, no caso da bobina, a corrente precisaria ser permanentemente estimulada, pois, do contrário, ela desaparece devido à resistência. Então, questionei o que ocorreria caso pudéssemos eliminar toda a resistência elétrica do condutor. A pergunta lhes pareceu interessante. “*A corrente não pararia*”, respondeu um aluno. Então continuei: *vocês conhecem algum material assim, que não oferece resistência à passagem de corrente? Seria o condutor perfeito?* Com perguntas assim, os alunos foram ficando mais interessados e curiosos. Surgiram comentários

de que o supercondutor oferece resistência elétrica quase zero e que não existe um condutor perfeito, pois sempre vai oferecer um mínimo de resistência.

Concordando com essa conclusão, comentei que se a corrente não parasse, então poderia gerar um campo magnético de duração prolongada que poderia repelir um ímã. Para ilustrar, convidei-os a verem o vídeo<sup>36</sup> “Magnetic Levitation”. No começo não acharam nada de mais, mas foi surpreendente a forma como reagiram ao ver um ímã flutuando sobre o supercondutor. “Oh!”, “Que massa!”, “É bruxaria!”... foram algumas das expressões ouvidas. Ficaram maravilhados com a cena em que o ímã era levantado e junto com ele subia também o disco supercondutor, sem que tocasse em nada. “Que lindo!”, exclamou uma aluna. Alguém lembrou, nesse momento, do trem visto na primeira aula, refletindo como não saia dos trilhos. Então, precisei explicar que aquele trem não utilizava supercondutores e se mantinha nos trilhos através de ímãs guias, mas que poderia ser desenvolvida uma tecnologia nova, com os supercondutores.

Expliquei que o que haviam visto no vídeo só ocorreu por que a cerâmica atingiu temperaturas abaixo de sua  $T_c$ . Em seguida, no vídeo, o ímã, lentamente foi perdendo a levitação. Sendo questionados do porquê, rapidamente deram-se conta de que o sistema teria se aquecido.

Solicitei que pensassem em uma forma de explicar como ocorria a levitação que acabavam de ver, mas não conseguiram associar ao diamagnetismo, já visto com auxílio da bobina. Então, no quadro, construí uma figura representando as linhas de campo do ímã atravessando a cerâmica no estado ordinário e outra no estado supercondutor, mostrando o encapsulamento magnético que se forma. Expliquei que a distorção das linhas para fora do disco supercondutor é o que os cientistas chamam de “Efeito Meissner”.

---

<sup>36</sup> “Magnetic Levitation” disponível no sítio do Youtube: [www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms](http://www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms), acessado em 08/10/2014.

Para ilustrar a grandeza desse efeito, passei o vídeo<sup>37</sup> “Superlevitação – supercondutor”. As cenas de dupla levitação levaram os alunos ao êxtase! Então começaram a especular sobre as possibilidades e também dificuldades de aplicação desse fenômeno para a sociedade. *Será que seria muito caro*, questionou uma aluna referindo-se à construção e manutenção de carros que levitassem. *Seria no começo. Mas depois se tornaria barato, já que não precisaria de combustível*, ponderou uma colega. *E seria ecologicamente correto, porque não iria gerar poluição*, ponderou outra. Comentei que seria possível desde que fosse produzido nitrogênio líquido em quantidades suficientes e houvesse sistema que o mantivesse refrigerado por longo tempo. Foi um momento “iluminado” da nossa aula!

Após o belo debate instaurado, retomamos o questionamento sobre *ser o supercondutor um condutor perfeito*. “*Não pode existir um condutor perfeito!*” disse um aluno. “*Mas pode ser que descubram*”, disse outro.

Então, passei a sequência de slides desenvolvida para conduzir essa análise, o que os alunos acompanharam com bastante atenção. Perceberam as diferenças. Em determinado momento, houve um interessante questionamento: *como o cientista sabe como se comporta um condutor perfeito uma vez que ele não existe? A partir da teoria, o cientista consegue prever ou saber coisas como essa*, respondi. *A Física é como a vida!* divagou um aluno que, mais tarde, questionado sobre o que ele quis dizer, explicou: *...é como se ela (apontando para uma colega) quisesse descrever o namorado ideal, ela pode fazer uma lista de características que ela espera encontrar, mas nunca vai encontrar um com todas essas...*

A aula foi encerrada pelo toque da campainha.

Nessa aula houve bastante interação e respostas coerentes e pertinentes. Questionamentos e situações foram bem recebidos pelos alunos e foram provocativas levando os alunos para o debate, deixando-os bem presentes na aula.

---

<sup>37</sup> “Super Levitação – supercondutor” disponível no sítio do Youtube: [www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZE](http://www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZE), acessado em 08/10/2014.

### **Aula 5.3 – Turma 303 (13/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Efeito Meissner**

A turma estava calma e todos os alunos aguardavam sentados em seus lugares. Cumprimentamo-nos e, enquanto organizava meu material os alunos fizeram o mesmo. Iniciei a aula recordando o experimento de indução eletromagnética. Alguns estudantes relataram ter visto o vídeo da lei de Lenz em casa e disseram ter achado um pouco complexo, mas compreenderam. Por meio de questionamentos fui conduzindo a classe a recordar e relatar detalhes do experimento e do que fora observado. Nesse processo foi possível perceber, pelos relatos que fizeram, que o comportamento diamagnético da bobina havia sido assimilado, embora naquela aula isto tivesse ficado um pouco obscuro.

Questionados sobre a origem da corrente induzida na bobina e sua curta duração, várias manifestações ocorreram e os colegas foram se complementando uns aos outros. Para justificar a curta duração da corrente, atribuíram “a culpa” à resistência elétrica da bobina, o que era uma resposta desejada. Neste ponto, então, problematizei propondo que descrevessem *que propriedade um condutor elétrico deveria ter para ser considerado um condutor perfeito* e, na hipótese de utilizá-lo na bobina, *que implicações isso teria nos resultados observados no experimento*. Esse desafio gerou bastante debate entre os alunos e alguns até se empolgaram, exagerando um pouco no tom de voz. “A corrente iria demorar mais pra desaparecer” afirmou uma menina. “Mas não existe esse condutor perfeito, né?” contribuiu um colega. Embora todos tivessem se envolvido na discussão e concordavam com a ideia da colega, ninguém fez referência ao campo magnético da corrente induzida e à repulsão ao ímã.

Essas relações só aconteceram com minha mediação, através de questionamentos. Aproveitando o gancho deixado pelo garoto que questionara sobre a existência do condutor perfeito, convidei a todos para acompanharem a projeção dos vídeos<sup>38</sup> “Magnetic Levitation” e “Superlevitação – supercondutor”. Esse

---

<sup>38</sup> “Magnetic Levitation” disponível no sítio do Youtube: [www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms](http://www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms), acessado em 08/10/2014.

momento foi muito semelhante ao das aulas já relatadas. Os alunos ficaram admirados com as cenas e começaram a imaginar utilidades para aquele fenômeno.

Na discussão “*pós vídeos*”, os comentários feitos pelos alunos destacavam a necessidade do resfriamento do supercondutor para atingir a temperatura crítica e a grande estabilidade observada na levitação do ímã. Porém, não houve nenhuma associação com as ideias trazidas pelo experimento da indução eletromagnética da aula anterior.

Novamente, foi necessário intervir. Então, construí no quadro a ilustração das linhas de força contornando a peça supercondutora (Efeito Meissner) como consequência da indução de supercorrentes. A partir disso, recordando a dúvida levantada por um aluno momentos antes do vídeo, questionei *se o supercondutor poderia ser um condutor perfeito*. A reação da turma, em um primeiro momento, foi de dizer *sim*. Mas, aos poucos, a dúvida voltou a dominar o grupo, sob a alegação de que “nada do que existe é perfeito”. Foi então que passamos à última parte da aula: analisamos uma sequência de slides que simulava dois experimentos para fazer um comparativo entre supercondutores e condutores perfeitos com o objetivo de esclarecer se se tratava da mesma coisa. Os alunos ficaram muito curiosos e acompanharam com muita atenção.

Devido ao tempo escasso, a sequência de slides foi exibida sem comentar quadro a quadro, até porque eram autoexplicativos. Ao final da sequência do primeiro experimento, os alunos ainda não pareciam ter uma opinião. Porém, ao final do segundo experimento, a totalidade da turma ficou com a clareza de que se tratava de coisas diferentes, independentemente de existir ou não o condutor perfeito. A argumentação de um aluno, interpretando corretamente o último slide, foi: “*se o supercondutor fosse um condutor perfeito, tinha que ter se magnetizado permanentemente também!*”.

Com esse desfecho, encerrei a aula!

O assunto Efeito Meissner mostrou-se bastante interessante para os alunos por gerar fenômenos incomuns e instigantes. Em todas as turmas houve o despertar da curiosidade dos alunos e da reflexão sobre possíveis aplicações e benefícios que este fenômeno poderia trazer à sociedade.

### **Aula 6.1 – Turma 303 (13/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Campo Magnético Crítico**

Recapitulei rapidamente os conteúdos das aulas anteriores. Em seguida, expliquei que a aula estaria dividida em três momentos: no primeiro, fariam uma discussão a partir da análise coletiva de um gráfico<sup>39</sup> de resistividade *versus* temperatura; no segundo, receberiam outros dois gráficos semelhantes, porém com algumas informações novas para analisarem e, finalmente, no terceiro momento, uma atividade avaliativa em duplas, na qual responderiam algumas questões relacionadas aos gráficos analisados nessa aula. Todo esse material está disponível no produto educacional, bem como nos apêndices. Os alunos ficaram curiosos com as atividades e não escondiam certa preocupação com a avaliação.

Então entreguei a cada um a ficha<sup>40</sup> “Vulnerabilidades do Estado Supercondutor” solicitando que fizessem individualmente a análise do gráfico ali apresentado, discutissem entre os colegas suas interpretações e respondessem no caderno as questões que o acompanhavam. Todos se empenharam em responder. Identificaram rapidamente as grandezas relacionadas no gráfico e as temperaturas em que a resistividade tornava-se desprezível.

Mas sentiram dificuldades em responder a questão “d” que pedia para identificar no gráfico as informações associadas ao campo magnético. Precisei ajudar recordando a lei de Biot-Savart, em que expressamos as intensidades do vetor indução magnética por “T” (Tesla). Expliquei que as medidas de resistividade foram tomadas sob influência de um campo magnético externo com algumas

<sup>39</sup> Gráfico obtido no sítio <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR2n8t6C1Sre6PixBYpIL7qfHoxftCU0jUzN1CXxNIFS5IM8gkQaw> e adaptado para esta atividade. Acesso 08/10/2014.

<sup>40</sup> Ficha contendo questões de análise e interpretação do gráfico.

diferentes intensidades. Logo, começaram comentários revelando a percepção de que existe alguma influência do campo sobre os resultados das medições, visto que havia três curvas diferentes no gráfico.

Questionados sobre qual era o efeito verificado no gráfico devido ao campo magnético, quase todos perceberam interferência na temperatura crítica, mas houve um pouco de confusão para descrever a relação. Porém, os colegas foram se ajudando até que todos conseguissem notar que com campos cada vez mais intensos, mais baixa se tornava a temperatura crítica. Elaboramos uma tabela no quadro com os valores de  $B$  e  $T_C$ . Em seguida, situaram os pares ordenados no sistema de eixos da questão e, juntos, esboçamos uma curva e interpretamos o seu significado.

Toda essa atividade durou cerca de dez minutos e os alunos mostravam-se preocupados com a complexidade da atividade seguinte e com o curto tempo que restava. Então, logo distribuí outra ficha para a análise dos gráficos que mostram a relação  $T_C$  *versus*  $B$  para o chumbo (supercondutor do tipo I) e o tântalo (supercondutor do tipo II).

Assim que os recebiam, os alunos já faziam comparações com o gráfico esboçado na atividade anterior e questionavam o porquê de o tântalo possuir duas curvas. Para agilizar a dinâmica, fui conduzindo a análise através de perguntas que os estudantes respondiam examinando os gráficos, o que facilitou a leitura dos mesmos por eles. Durante essa análise, ressaltéi os distintos comportamentos dos elementos tântalo e chumbo no estado supercondutor frente a um campo magnético aplicado: para o chumbo, a existência de um campo magnético externo reduz sua temperatura crítica e o Efeito Meissner ocorre plenamente (expulsão total das linhas de indução do interior do material); já para o tântalo, ocorre uma faixa de temperaturas na qual a expulsão das linhas de indução não é total, fato que, por vezes, é referido no meio científico como um Efeito Meissner parcial. Assim, o tântalo, sob a influência de um campo magnético externo, apresenta duas temperaturas críticas: uma inferior, que delimita a ocorrência do efeito Meissner total e o parcial e uma superior, que delimita a ocorrência do estado supercondutor e o estado normal (daí o porquê das duas curvas no gráfico). Tal fato é comum na

maioria dos materiais que apresentam supercondutividade e levou a classificar os supercondutores em dois tipos: tipo I (sob a influência de um campo magnético, exclui completamente o fluxo magnético do seu interior) e tipo II (sob a influência de um campo magnético, em uma determinada faixa de temperaturas, este consegue penetrar parcialmente no material).

Terminada essa discussão, iniciamos a terceira parte da aula, que foi responder algumas questões sobre o que fora tratado na aula em duplas, para avaliação. Enquanto se organizavam, distribuí a folha<sup>41</sup> com as questões. Surpreendentemente, todos se dedicaram para responder à tarefa e falavam estar gostando da atividade. Porém, demoravam para formular suas respostas, o que comprometeu a realização integral da atividade.

Ao final da aula, algumas duplas não tinham concluído a tarefa e solicitaram mais tempo para terminá-la. Como não havia essa possibilidade, combinei que avaliaria apenas o que estava respondido e não consideraria as questões em branco. Ainda assim, os alunos manifestaram que futuramente, quando “sobrasse” algum tempo, gostariam de concluir a atividade, pois a acharam “massa”. Recolhi os trabalhos e saí confiante de que a aula fora significativa para esse grupo.

Essa aula foi marcante pela boa receptividade dos alunos às atividades propostas, que corresponderam às situações necessárias para uma possível ativação e reestruturação dos seus esquemas associados ao tema.

## **Aula 6.2 – Turma 301 (13/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Campo Magnético Crítico**

Fui recebido na porta da sala, os alunos estavam bastante ansiosos e preocupados com o que faríamos nessa aula. Rapidamente passei as informações gerais das atividades. Enquanto eu distribuía a primeira ficha com o gráfico de resistividade *versus* temperatura em diversas condições de campo magnético externo, alguns alunos demonstravam preocupação com a atividade que fariam

---

<sup>41</sup> Ficha de própria autoria com questões envolvendo conteúdos também de aulas anteriores.

depois e a escassez de tempo etc. Foi necessário incentivar a turma o tempo todo, conduzindo a análise do gráfico para que a aula pudesse render e os alunos não se distraíssem com outros assuntos.

Assim, o professor lia a questão e voluntários davam sua resposta; o grupo discutia quando diferentes respostas eram apresentadas até chegar a um consenso que o professor aprovasse. Nesse momento todos anotavam a resposta. Dessa forma, pudemos desenvolver a atividade em tempo menor do que na turma anterior. O curioso foi que, embora essa turma também tivesse apresentado dificuldades em executar as tarefas “d” e “e”, alguns alunos conseguiram interpretar corretamente as informações do gráfico. Apenas precisaram se certificar de que o “T” que aparecia referia-se à Tesla.

Então *plotamos* o gráfico juntos, organizando uma tabela  $B \times T_C$  no quadro e os alunos levaram os dados para o plano cartesiano da ficha. Toda essa atividade, em especial as duas últimas (letras “d” e “e”), foi bastante interessante, pois despertou a participação de todos. Quando fizemos a interpretação do gráfico resultante foi possível perceber entusiasmo e vários alunos que, nitidamente estavam percebendo significados naquilo. Um aluno chegou a falar “*que massa! O trabalho vai ser assim?*”, demonstrando ter gostado de fazer a atividade.

O segundo momento da aula também foi positivo. Cada aluno recebeu os gráficos do *chumbo* e do *tântalo* e logo começaram a interpretá-los. Porém, como na turma anterior, as duas curvas do *tântalo* geraram discussão. Alguns chegaram a desconsiderar uma das curvas; outros interpretaram como sendo o estado supercondutor apenas a faixa entre as duas curvas. Então, falei do estado intermediário e da classificação dos supercondutores, o que pareceu ter sido rapidamente assimilado pelo grupo, finalizando esta etapa com certo atraso.

Restando 15 (quinze) minutos para acabar a aula (metade do tempo previsto para a atividade), solicitei que se reunissem em duplas para a atividade avaliativa final, tão esperada por eles. Da mesma forma que na turma anterior, a maioria se envolveu e se esforçou para responder às questões. Porém, vários demoraram

demais para formular suas respostas, de modo que ao final do período ainda havia questões não respondidas.

A mesma situação observada na outra turma se repetiu: os alunos relataram gostar da atividade, mas queriam mais tempo para concluí-la. Então, combinei que futuramente poderíamos retomar esse trabalho para concluí-lo, mas que por enquanto consideraria apenas as questões respondidas. Todos entregaram e foram dispensados.

Essa aula também foi bastante produtiva. Houve uma dificuldade inicial em função de os alunos não compreenderem bem o gráfico, mas esta foi superada e logo passaram a tomar gosto pela atividade, o que proporcionou atingir o objetivo da aula.

### **Aula 6.3 – Turma 302 (14/11/2014, sexta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Campo Magnético Crítico**

Adentrei na sala e fui organizando meu material. Passados alguns minutos, todos estavam em seus lugares e iniciei a aula informando-os sobre as atividades que faríamos. Fiz uma breve revisão. Infelizmente, como era característico dessa turma, os alunos mostravam-se preguiçosos e alguns visivelmente pensavam ainda no intervalo. Mas aos poucos fomos retomando e recuperando as informações. Novamente senti necessidade de conduzir a aula e impor um ritmo maior do que aquele que os alunos estavam seguindo. A primeira atividade foi desenvolvida em conjunto, seguindo uma dinâmica semelhante à da turma 301 (do dia anterior), em que o professor lançava a pergunta, analisava as respostas e todos escreviam a conclusão final em seus cadernos.

As dificuldades de entendimento no item “d” (identificar a influência do campo magnético externo) nessa turma foi maior, o que exigiu mais tempo para tornar a atividade suficientemente clara para a classe. Ainda assim, ao terminar toda a tarefa, os estudantes expressaram contentamento e certo prazer em realizá-la.

Na segunda tarefa, não houve novidades em relação às turmas anteriores, desenvolvendo-se tudo de forma idêntica, apenas precisei induzir um ritmo maior à classe para que pudéssemos ganhar tempo para o terceiro momento da aula. Então, conseguimos 20 minutos para a atividade final. As duplas rapidamente se formaram e, assim que receberam o material, começaram a trabalhar. Alguns conseguiram realizar toda a atividade, ao passo que outros demoraram para elaborar e escrever suas respostas, o que acabou fazendo-os entregar as questões incompletas. Então, fiz a mesma combinação feita nas turmas anteriores e, assim, encerramos.

Como era perceptível, essa turma apresentava maior dificuldade de compreensão e de concentração, requerendo do professor frequentes intervenções para o desenvolvimento dos trabalhos em sala de aula.

Em uma análise global, é possível dizer que os alunos gostaram de fazer as atividades planejadas para essa aula, principalmente nas turmas 301 e 303, pois viram significado na interpretação de gráficos. A impressão que tive foi de que pela primeira vez estavam atribuindo significado útil a um gráfico, dando-lhes compreensão de como interpretar gráficos das diferentes áreas do conhecimento e de como um gráfico é uma importante ferramenta de informação. Isso foi satisfatório!

O objetivo dessa aula que consistia em compreender fatores que influenciam na condição supercondutora de um material foi atingido.

### **Aula 7.1 – Turma 301 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Interpretação Microscópica: Pares de Cooper**

A aula ocorreu no primeiro período da manhã, Cheguei cumprimentando a todos e convidei-os a sentarem e organizarem seus materiais. Após alguns minutos, acomodaram-se e iniciei falando que nessa aula iríamos pensar e refletir a fim de podermos juntar todas as informações adquiridas ao longo das seis últimas aulas e que buscaríamos uma possível explicação para o fenômeno da supercondutividade. A reação primeira, quando falei em pensar, foi de desagrado, mas destaquei que a contribuição de todos seria bastante importante. Então, por meio de questionamentos, busquei conduzi-los a recordar sobre o modelo do “gás de

elétrons” e sobre os fatores que contribuem para a resistividade/resistência elétrica nos condutores, destaquei, sobretudo os efeitos da temperatura.

Foi possível perceber que essas ideias estavam mais consistentes, agora, na cabeça de alguns estudantes. Questionados sobre as supercorrentes que podiam se estabelecer no estado supercondutor, a explicação dada por um aluno foi de que os *elétrons não enfrentavam obstáculos na rede cristalina devido ao “congelamento” dos íons*. “*Os íons não congelam...tipo, eles se mexem menos e os elétrons conseguem passar sem dificuldades*”, explicou outro. Então, convidei-os a ver a animação intitulada “vibração térmica”<sup>42</sup>, elaborada por mim, para reforçar a ideia, ainda que simples, de como a vibração dos íons pode limitar o caminho do elétron. Nenhuma reação especial foi percebida de parte dos estudantes sobre isso. Em seguida, mostrei outra animação<sup>43</sup>, “Elétron-fônon”, e questionei se estavam entendendo o efeito representado (distorção temporária nas fileiras de íons da rede cristalina por onde o elétron passa) e se isso faz algum sentido.

Essa animação prendeu a atenção e os questionamentos feitos inquietaram a todos os mais envolvidos na discussão. “*Se deve à carga elétrica?*” perguntou um aluno. Eu respondi que sim e logo questionei *como isso se processa*, esperando alguma descrição do fenômeno. “*O elétron atrai os ‘átomos’?*” respondeu uma aluna atenta, mas um pouco insegura. Nesse momento, houve discussão entre colegas para interpretar o fato de que os íons não se aproximavam do local onde o elétron estava, momentaneamente, mas se aproximavam em um ponto mais atrás. Foi uma questão de tempo para que associassem isso ao movimento do elétron, pois alguns viam isso com clareza.

Então, fiz uma intervenção e resgatei um conteúdo do primeiro ano - a ideia da inércia – e justifiquei que os íons, mais massivos do que os elétrons, movem-se mais lentamente. Além disso, o movimento de um íon interfere no movimento do íon vizinho, dado que estão ligados. Isso configura uma perturbação no arranjo cristalino, que se movimenta acompanhando o elétron. Expliquei que essas

---

<sup>42</sup> Animação de própria autoria que ilustra o efeito térmico nos íons da rede cristalina.

<sup>43</sup> Animação de própria autoria que ilustra de forma simplificada a interação do elétron com a rede cristalina na ausência de agitação térmica.

ondulações são chamadas “fônons”. Após essa explanação, perguntei se conseguiam associar o que estavam vendo com o estado térmico do material e se esse fenômeno seria observável em qualquer temperatura. Repararam, então, na ausência da vibração dos íons e um aluno até exclamou: *“Claro! Por isso que precisa resfriar o material.”* Perguntado sobre o que ele queria dizer, o aluno falou que *“as ondulações não se formam se os íons estiverem se movendo”*. Nesse momento, então, aproveitei o comentário do aluno e expliquei que os fônons *sempre se formam*, mas que quando a agitação térmica ultrapassa certa intensidade, a coerência exigida pela interação entre um par de elétrons mediada por troca de um fônon é perdida (trata-se, simplesmente, do efeito do aumento da entropia, ou desordem térmica). Essa informação foi facilmente aceita pelos alunos, que associaram rapidamente ao fato da supercondutividade ocorrer somente a baixas temperaturas.

Nessa altura de nossa reflexão, perguntei *o que imaginavam que poderia ocorrer se dois elétrons, seguidos pelos fônons que produzem, passassem um pelo outro*. Fez-se um silêncio incomum, mas as cabeças pareciam pensantes. Algumas respostas tímidas surgiram, embora a maioria preferisse optar pelo “não sei!” Alguns imaginaram que os elétrons pudessem colidir e se destruir ou desviar suas trajetórias. Foi então que passei a animação<sup>44</sup> “Par de Cooper”. Todos ficaram muito atentos e curiosos e a surpresa com o efeito resultante foi geral. *“Que maluquice!”* exclamou um. *“Que massa! É como se eles se prendessem um no outro.”* falou outro. E foi exatamente essa ideia que eu reforcei, identificando a dupla de elétrons ligados como um “par de Cooper”. Os alunos acharam tão interessante que pediram pra repetir a animação várias vezes.

Passada a surpresa, iniciei uma breve explanação, esclarecendo que o que estavam vendo era uma representação simplificada de uma ideia defendida pela mais consistente e importante teoria sobre o estado supercondutor, batizada de “Teoria BCS”<sup>45</sup>. Expliquei que talvez não fosse exatamente assim que ocorre na realidade, mas que essa forma de descrever o fenômeno permite compreender a

---

<sup>44</sup> Animação de própria autoria que representa a formação de pares de Cooper.

<sup>45</sup> Essa sigla decorre dos nomes dos propositores da teoria: John **Bardeen**, Leon **Cooper**, e John Robert **Schrieffer**.

supercondutividade em baixas temperaturas – trata-se de uma explicação aceita pela comunidade científica.

Para finalizar a aula, cada aluno recebeu uma cópia do texto<sup>46</sup> “Supercondutividade: uma descrição microscópica”, o qual resume em poucos parágrafos a essência da teoria BCS e cuja leitura precisou ficar como atividade de casa, pois o sinal de término soou.

As animações selecionadas atenderam plenamente minhas expectativas, pois as expressões de surpresa e encantamento dos alunos foram coerentes com os resultados esperados. Os comentários dos alunos durante as animações, por refletirem relações com conhecimentos já estudados em aulas anteriores, podem ser tomados como indicadores de um processo de reformação de esquemas. Nesta perspectiva talvez os invariantes operatórios estivessem sendo reorganizados.

### **Aula 7.2 – Turma 302 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Interpretação Microscópica: Pares de Cooper**

A sala dessa turma ficava ao lado daquela da turma 301, de modo que o deslocamento é muito rápido. Ao chegar, deparei-me com a professora do período anterior ainda em sala aguardando que alguns alunos concluíssem uma avaliação. Não fosse o fato de que eu estava por dar duas aulas juntas nessa turma (então poderia compensar os minutos perdidos no começo dessa aula com os da seguinte), talvez eu tivesse que solicitar para que ela se retirasse com os alunos retardatários. Mas, felizmente, foram perdidos poucos minutos.

Os alunos estavam agitados, por terem feito uma avaliação e pareciam pouco dispostos a pensar, como eles mesmos diziam. Conduzi uma revisão do assunto já visto, recapitulando de forma narrativa e também através de perguntas. Embora houvesse alguma resistência inicial, aos poucos os alunos foram se sintonizando com as discussões. Tudo se desenvolveu numa sequência parecida com a que foi

---

<sup>46</sup> Texto de própria autoria, que pode ser visto no Apêndice H.

narrada para a turma anterior, embora com menor participação quando eu lançava questionamentos.

Foi a partir da exibição das animações<sup>47</sup> que os alunos começaram a interagir mais, mas ainda assim, com bastante passividade. Na exibição da animação “Elétron-fônon”, embora tenham achado interessante o efeito visualizado, foi necessário induzir uma interpretação do que estava sendo apresentado. Os alunos apenas pensavam e respondiam quando eram incitados pelo professor. Não houve voluntariado nessa turma. Parecia haver preocupação com a atividade avaliativa realizada anteriormente, na outra disciplina. Assim, a aula foi um pouco arrastada e cansativa.

Ao apresentar a última animação, “Par de Cooper”, é que os alunos manifestaram alguma surpresa, tal como ocorrera na turma anterior. Inicialmente, não compreenderam o que estava sendo representado, mas depois repercutiu a interação entre os dois elétrons. “*Os elétrons estão se atraindo?*” perguntou uma aluna fazendo cara de estranheza. “*Acho que tem a ver com os ‘átomos’ do material!*” exclamou um colega. “*O que vocês acham do que os dois colegas estão dizendo?*” eu questionei ao grande grupo que estava apenas ouvindo. Após alguma insistência minha para que participassem da discussão, uma aluna argumentou dizendo: “*Não tem como os elétrons se atraírem porque eles são negativos... Mas não sei por que eles fazem isso!*”.

Como o tempo passava e não deveríamos avançar na aula seguinte, decidi intervir explanando sobre os pares de Cooper e a teoria BCS. Então entreguei aos alunos uma cópia do texto “Supercondutividade: uma descrição microscópica” e fizemos uma leitura atenta de cada parágrafo, em voz alta, com a participação de alguns voluntários. Com isso, encerrei a aula, já tendo avançado cinco minutos da aula seguinte. Orientei para que relessem o texto em casa, com a cabeça descansada e questionassem caso houvesse necessidade, e que para a aula que estava por começar, se esforçassem para uma melhor concentração e participação.

---

<sup>47</sup> Animações de própria autoria que ilustram o efeito térmico nos íons da rede cristalina e, de forma simplificada, a interação do elétron com a rede cristalina na ausência de agitação térmica.

Nessa turma percebi que os alunos ficaram um pouco prejudicados em função da atividade feita na aula anterior, pois não tiveram um tempo (pequeno intervalo) para descansar e se preparar para um novo momento. Isso exigiu um esforço no sentido de resgatá-los e trazê-los de volta para o contexto da aula de Física, comprometendo as discussões acerca das situações propostas e sendo necessário solicitar aos alunos que revisassem em casa o que fora visto em sala de aula.

**Aula 7.3 – Turma 303 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min)  
– Interpretação Microscópica: Pares de Cooper**

Apesar de esse ser o último período da manhã, os alunos estavam dispostos, esperando na porta da sala de aula. Ao entrar, um aluno, sorridente, do meio da sala, perguntou: “*E aí, professor, o que vamos estudar hoje?*” Essa recepção me deixou mais animado e rapidamente organizei meu material enquanto conversava com os alunos sobre o que trataria a aula. Seguindo a sequência planejada, fizemos uma recapitulação dos conceitos e ideias vistos até então sobre a supercondutividade, com bastante participação do grupo.

Porém, como esse período é tradicionalmente mais curto devido à necessidade de saírem para tomar o transporte escolar, imprimi um ritmo mais dinâmico em relação às turmas anteriores, aproveitando que o grupo estava acompanhando bem. Perguntados sobre o que sabiam acerca da supercondutividade, uma aluna tomou a palavra e fez um belo e detalhado discurso sobre o que entendera, falando sobre a *resistividade do material*, associando-a a *impurezas na rede cristalina*, falou da quantidade de *elétrons livres* e da *vibração térmica*. Ao parabenizá-la pelas colocações os colegas brincaram dizendo que ela ficara estudando o final de semana todo. Ao pedir quem poderia complementar a colocação da colega, um aluno destacou que *a supercondutividade ocorre somente em baixas temperaturas* e que um de seus efeitos mais interessantes é a levitação magnética, recordando um vídeo visto numa aula anterior e os trens bala.

Diante de tais colocações, convidei-os para ver as animações<sup>48</sup> “Vibração Térmica” e “Elétron-fônon”, passadas em sequência, visto que a primeira animação não gerou discussões, pois demonstraram ter entendido. Na relação elétron-fônon, demonstraram bastante curiosidade pelo efeito e, felizmente, tal como com a primeira turma, perceberam uma relação com baixas temperaturas e a falta de agitação térmica dos íons da rede, na animação, relacionando também com a ocorrência da supercondução.

Surpreendentemente, ninguém soube associar a formação dos fônons com a interação dos elétrons com os íons devido às cargas elétricas. Nesse ponto, foi necessária uma explanação semelhante a que fora feita na turma 301. Já preocupado com o tempo, faltando poucos minutos para terminar a aula, parti para a terceira e última animação: “Par de Cooper”. Esse grupo também reagiu com surpresa ao ver o resultado do “encontro dos elétrons”. Disseram não imaginar nada semelhante. Porém, questionados sobre o que estavam vendo, não foi difícil perceberem uma relação entre a concentração de íons positivos e o par de elétrons que se formava. A aluna de antes comentou: *“parece que os elétrons ficam atraídos por aquele amontoado de íons.”*

Aproveitei para explicar que era exatamente isso que estava sendo representado e que aquela dupla de elétrons assim formada recebe o nome de “par de Cooper”, por essa ideia ter sido proposta pelo pesquisador Leon Niel Cooper e que hoje está incorporada à mais importante teoria que pretende descrever e explicar o fenômeno da supercondutividade, a teoria BCS. Entreguei o texto “Supercondutividade: uma descrição microscópica” e convidei-os para que fizéssemos a leitura atenta a fim de concluir a aula e organizar as ideias. Porém, no meio da leitura, a aula foi encerrada pelo toque do sinal e os alunos foram liberados.

Essa turma mostrou-se atenta ao assunto, com boa participação e interesse. A pouca dificuldade demonstrada para interpretar as animações pode ser tomada como um indício de que seus esquemas estariam mais desenvolvidos em relação ao percebido nas outras turmas.

---

<sup>48</sup> Animações de própria autoria que ilustram o efeito térmico nos íons da rede cristalina e, de forma simplificada, a interação do elétron com a rede cristalina na ausência de agitação térmica.

Em uma análise geral, o objetivo dessa aula foi atingido, ainda que com menos êxito na turma 302, conforme já relatado.

### **Aula 8.1 – Turma 302 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 1**

Essa turma, nesse dia, acabara de ter uma aula de Física em que foi desenvolvida a ideia dos “pares de Cooper”. Apesar da apatia dos alunos, a atividade seguinte foi motivadora para eles. Ainda em sala de aula, falei que iríamos para o laboratório de informática (LI) onde, em duplas, fariam uma pesquisa dirigida sobre o desenrolar histórico das investigações sobre a Supercondutividade, aplicações etc. Passei as instruções do que deveriam fazer e partimos para o LI. Chegando lá, cada dupla escolheu sua máquina, ligou e aguardou novas instruções. Para essa atividade, foi utilizado um recurso didático chamado “*WebQuest*”<sup>49</sup>.

A ferramenta mostrou-se muito boa para praticar o estudo orientado. Trata-se de um arquivo com instruções sobre o que o aluno deve fazer e com vínculos a algumas páginas *web*, previamente selecionadas pelo professor, que possuem conteúdos de interesse para a atividade a ser desenvolvida. Um dia antes, eu deixara o arquivo baixado e disponível na área de trabalho de cada máquina, este é um cuidado importante que cabe ao professor. Mesmo assim, devido à configuração das máquinas, que eu desconhecia, todo arquivo salvo na área de trabalho era apagado quando a máquina era desligada. Então, para disponibilizar o arquivo aos alunos, criei uma conta de e-mail no *gmail* e adicionei todos os alunos (das três turmas) como administradores e forneci-lhes a senha.

Assim, cada grupo precisou apenas acessar a conta e baixar o arquivo em sua máquina para, então, iniciar os trabalhos. Apesar desse pequeno contratempo, foi importante fazer isso, pois os alunos iriam precisar acessar também em casa, a fim de dar continuidade ao trabalho que não seria concluído na escola. Dessa forma, isso serviu de treinamento de como acessar o arquivo.

---

<sup>49</sup> Informações sobre o recurso *WebQuest* disponíveis em: <http://www.educacao.sp.gov.br/noticias/educacao-sem-internet-so-no-monasterio> e [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-46982011000300002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-46982011000300002). Acessados em Agosto de 2014.

Ao acessar a *WebQuest*, os alunos surpreenderam-se com o recurso e, à medida em que iam navegando por ele, manifestações de elogios foram-me dirigidas, pois disseram ter gostado muito da forma como a atividade fora organizada. Porém, assustaram-se com a quantidade de textos sugeridos para leitura. Para acalmá-los, passei novas orientações dizendo que deviam, naquele momento, familiarizar-se com o recurso e entender quais eram os passos que deviam seguir e que as leituras deviam começar na escola e continuar em casa a fim de responderem ao questionário avaliativo da *WebQuest*, que seria na aula seguinte. Dessa forma, mais tranquila, a turma iniciou a exploração do material. Um grupo interessou-se pelo nitrogênio líquido e passou a ler a esse respeito, desviando-se um pouco do foco do trabalho. Houve alguns grupos que tentaram responder o questionário sem fazer as leituras preparatórias, o que exigiu minha intervenção no sentido de orientá-los a seguir a proposta: ler, explorar o material disponibilizado, instruir-se, para depois responder às questões. E assim aconteceu até o final da aula.

Foi interessante notar que os grupos saíram do LI entusiasmados e combinando como continuariam a atividade em casa.

Avalio que essa aula foi muito produtiva, sobretudo para essa turma que normalmente era mais dispersa em trabalhos dessa natureza, inclusive em outras disciplinas. Observei que nessa aula os alunos tiveram um comportamento maduro, muito possivelmente, em função do recurso utilizado da *WebQuest*.



Figura 20: Alunos da turma 301 (ano 2014) trabalhando a *WebQuest* no LI.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

**Aula 8.2 – Turma 301 (19/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h)  
– Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 1**

Essa turma retornava do intervalo e um grupinho de alunos, não escondendo a curiosidade pelo que tinham ouvido dos colegas da turma 302, perguntou se iríamos ao LI. Ao confirmar, reagiram com empolgação e logo se organizaram para receber as orientações. Ao chegarmos na sala dos computadores, todas as máquinas já estavam ligadas (deixadas pela turma anterior), mas o arquivo da *WebQuest* propositalmente estava fechado.

Então expliquei ao grupo como acessar o arquivo a partir de suas casas, através do e-mail criado especificamente para isso. Infelizmente, o inconveniente dessa vez foi que a conexão com a internet começou a falhar e as páginas abriam com alguma demora. Isso, contudo, não comprometeu a aula, pois o arquivo já estava baixado e os alunos puderam acessar a *WebQuest* normalmente. Para minha satisfação, esses alunos também acharam interessante a atividade e aprovaram o recurso como forma de dirigir seu estudo. Cada grupinho navegava atentamente pelas páginas da *WebQuest* e, de vez em quando, alguém pedia se podia consultar outros sites além dos indicados. Ao acharem algo interessante, compartilhavam com os colegas a fonte: “*Acessa o penúltimo endereço pra ver que massa!*” falou alto um aluno entusiasmado para os colegas.

Os alunos entenderam a proposta de trabalho e passaram a ler o material disponibilizado. Também nessa turma houve reclamação de que havia muita leitura a ser feita. Algumas alunas pediram para ler em casa, para poder se concentrar e ter maior conforto. Expliquei que era desejável que todos fizessem isso, para que na aula seguinte estivessem preparados para responder o questionário da *WebQuest*. A partir disso, os alunos começaram a se organizar no sentido de dividir as leituras e responder às questões. Como o questionário já estava disponível, a combinação que a maioria fez foi de que cada um deveria responder as questões e, na aula seguinte, juntariam as respostas e completariam o que estivesse faltando. Cada dupla, de forma reservada, fez suas combinações e, ao findar a aula, todos estavam cientes do que iriam fazer até a aula seguinte.

Chamou a atenção o fato de que também para essa turma a atividade *WebQuest* agradou e se mostrou interessante e útil, pois não conheciam esse recurso. A aula foi produtiva porque ocorreu algo desejável neste tipo de atividade: a busca por mais fontes de informação, além das já sugeridas e disponibilizadas.

**Aula 8.3 – Turma 303 (20/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 1**

Diferentemente das demais turmas, nessa, as aulas de pesquisa/leitura e de resposta ao questionário da *WebQuest* não estavam separadas. A preocupação quanto ao tempo para as tarefas era grande visto que a prática nas turmas 301 e 302 mostrou que os alunos precisavam de mais tempo para as leituras. Não tinham o hábito de receber textos longos.

Na sala de aula, questionei se tinham concluído a leitura do texto da aula anterior, já que não havíamos conseguido lê-lo até o final e perguntei se alguém ficara com dúvidas. Alguns disseram não ter lido e outros, sim, mas não manifestaram dúvidas. Então, rapidamente passei as orientações do que teriam que fazer nessa aula e nos dirigimos ao LI. Desta vez, os computadores estavam desligados e instruí-os a acessarem a conta de e-mail que eu criara para que baixassem o arquivo da *WebQuest* na qual trabalhariam. Avisei que, havendo necessidade, poderiam acessá-lo de casa desde que seguissem os mesmos passos.

Então, todos tomaram nota, alguns no caderno, outros em rascunho sobre como acessar o material a partir de casa.

Novamente, ocorreu que a conexão com a internet estava lenta e houve demora para que todos os grupos conseguissem baixar e acessar a *WebQuest*. Mas, depois de conseguir, também ficaram impressionados com o recurso. Houve quem ficasse curioso em saber como o material fora preparado. Devido às condições da conexão, não foi possível explorar muitas fontes. O tempo passou e a leitura de poucos textos pode ser feita, o que deixou os alunos um pouco nervosos e preocupados, pois não haviam conseguido se preparar adequadamente para a

atividade seguinte: responder um questionário. Para não ser injusto com esse grupo, combinei que também estenderia o prazo para a entrega do questionário, estabelecendo como limite máximo, o horário das 23h59min do dia seguinte, sexta-feira. Informei que após esse prazo não seria mais aceita a postagem de respostas. Dessa forma, os estudantes se acalmaram e deram sequência à atividade de leitura e consulta às fontes disponibilizadas na *WebQuest*.

Penso que essa aula cumpriu plenamente com seu objetivo: incentivar o aluno à pesquisa e à busca de novas informações acerca do tema estudado, ampliando os conhecimentos sobre o mesmo e construindo a tão importante autonomia.

Sem dúvida a proposta da *WebQuest* foi um fator motivador para os alunos se envolverem na atividade, pois trouxe para a sala de aula as tecnologias da informação de uma forma não banal.

### **Aula 9.1 – Turma 303 (20/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 2**

Essa aula foi uma continuação da anterior e foi desenvolvida no LI. Segundo o planejamento, após os alunos terem feito as leituras recomendadas e explorarem os sítios indicados na *WebQuest*, deviam realizar a tarefa - responder ao questionário *online*, acessível através desse recurso didático.

Porém, dados os contratempos já relatados na aula oito e pelo fato de que para as turmas 301 e 302 o intervalo entre essas aulas foi maior, possibilitando um tempo mais estendido para as leituras (na turma 301, de quarta para quinta-feira e na 302, de quarta para a sexta-feira), a turma 303 foi orientada a começar a tarefa do questionário na escola e concluir em casa, tendo como prazo máximo para o envio das respostas o horário das 23h59min da sexta-feira.

Sendo assim, precisei configurar o questionário, elaborado com a ferramenta “Formulários” disponível no *Google Drive*<sup>50</sup>, de modo a permitir esse prazo e para que cada dupla pudesse salvar suas respostas sem enviar ao professor e também, acessar o questionário parcialmente respondido para completá-lo em outro momento (em casa, por exemplo).

Nos dez minutos finais, dirigi-me a cada dupla em particular para informar como deviam acessar suas respostas sem que os colegas pudessem copiá-las. Para tanto, bastava que cada dupla copiasse o URL da página na qual suas respostas estavam sendo armazenadas e não compartilhasse com os colegas. Foi surpresa notar que os estudantes gostaram muito dessa possibilidade oferecida pelo recurso – de poder começar a responder em uma máquina, na escola, e continuar em outra, em casa, sem ter que copiar o arquivo, pois este ficava armazenado na nuvem. Dessa forma, a atividade prevista para essa aula foi parcialmente modificada em função da necessidade de adequação do tempo. É importante destacar que até o prazo final, todos os grupos conseguiram postar suas respostas.

A impressão sobre essa aula foi de que os alunos gostaram de fazer a tarefa proposta por várias razões expressas por eles: a) porque se tratou de um questionário online; b) pelo conteúdo das questões que lhes permitia conhecer curiosidades que não tinham sido abordadas ao longo das aulas; c) porque com as leituras enriqueceram seu conhecimento.

## **Aula 9.2 – Turma 301 (20/11/2014, quinta-feira) – 1 período – (11h às 11h50min) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 2**

Nessa aula combinei e nos encontramos diretamente na sala de informática. Os alunos chegaram com seus questionários parcialmente respondidos. Muitos haviam respondido no seu caderno (cada componente da dupla tinha a sua resposta para a mesma pergunta) e deixaram para discutir com o colega e transcrever a melhor resposta para o ambiente do questionário *online*. Frequentemente, eu era chamado para verificar alguma resposta. Num sinal de contentamento com a

---

<sup>50</sup> Recurso da Google disponível na internet, que permite gerar formulários e outros instrumentos online, acessá-los, editá-los e compartilha-los de forma prática em diferentes máquinas.

ferramenta utilizada para a tarefa, um estudante exclamou: “*Que bom seria se as provas fossem assim, no computador!*”, colocação que logo recebeu apoio de toda a classe.

Felizmente não houve nenhum contratempo tecnológico e a maioria realizou a tarefa em cerca de 30 minutos. Apenas dois grupos ficaram “para trás” em função de não terem feito as leituras como o sugerido. Esses eram alunos que normalmente tinham pouco comprometimento com seus deveres escolares e deixaram para responder o questionário na última hora, de forma bastante superficial. Contudo, findando a aula, todos haviam enviado suas respostas para a avaliação.

Novamente, é de ressaltar que essa foi uma atividade bastante interessante, pois nitidamente dentre os fatores que mais motivaram os alunos foi o diferencial proporcionado pela tecnologia utilizada e a possibilidade de conhecer mais sobre o assunto tratado, além da autonomia que lhes foi conferida.

### **Aula 9.3 – Turma 302 (21/11/2014, sexta-feira) – 1 período – (10h10min às 11h) – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – parte 2**

Essa turma, de um modo geral, foi a menos ativa ao longo de todas as aulas (foi assim o ano inteiro). Foi necessário buscá-los na sala de aula, após o intervalo, para realizarem a tarefa no LI. Estavam menos organizados, muitos não tinham feito um esboço das respostas que enviariam para a avaliação. Então acabaram levando todo o tempo da aula para se dedicar ao questionário *online*. Nessa turma, houve algumas tentativas de cópia de respostas ao longo da tarefa, o que requereu cuidado por parte do professor.

Porém, algumas chamadas de atenção foram suficientes para controlar o problema. Os mais comprometidos concluíram num tempo bastante satisfatório, enquanto outros precisaram trabalhar até os últimos minutos. Alguns alunos, aproveitando o tempo restante, após o envio de suas respostas, chamavam-me para mostrar curiosidades encontradas no material disponibilizado para leitura e estudo.

Também ali houve manifestações de aprovação acerca da metodologia utilizada, questionário *online*. “A professora de História e a professora de Literatura podiam fazer assim também” sugeriu uma estudante, gerando comentários diversos de aprovação no grupo. Demonstrando preocupação com a prova de Física que prestariam na semana seguinte, sobre o que estudaram de Supercondutividade, sugeriram que ela fosse oferecida dessa forma. Aproveitando o gancho, recomendei que revisassem todo o material e se preparassem para a avaliação final, que seria escrita em papel. Em seguida, foram dispensados.

Essa turma se envolveu menos na atividade, o que se refletiu no comportamento de querer “colar”. Mas também reconheceu no recurso uma forma de estudo e de trabalho inovadora e interessante.

Em uma análise geral do desempenho das três turmas, é possível concluir que as atividades propostas agradaram os alunos, e esse fato se reflete de forma importante na predisposição à aprendizagem.

#### **Aula 10.1 – Turma 301 (26/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (07h30min às 08h20min) – Avaliação Final – PROVA “Supercondutividade”**

Como comumente ocorre em dia de prova, os alunos estavam apreensivos. Ouviam-se comentários divergentes: os mais exagerados diziam não suportar mais ouvir falar em Supercondutividade; outros diziam ter gostado bastante do assunto, mas que era muito conteúdo para uma prova só. Eram lamentações normais de véspera de prova até eu pedir silêncio e organizar a turma para que pudessem responder às questões, individualmente e com tranquilidade.

Essa avaliação constou de algumas questões sobre o conteúdo abordado ao longo do período em que a proposta didática do presente projeto foi desenvolvida. Sempre esteve muito claro para todos que a última atividade seria uma prova individual e sem consulta, como é o costume no Colégio em que a proposta foi implementada, e não constituiu nenhuma novidade para os estudantes. Apesar disso, nem todos levaram a sério as oportunidades de aprendizado que se lhes apresentavam.

Embora tivessem tido cinco dias para retomar o conteúdo, desde a última aula, e do fato de que dispunham das avaliações parciais, realizadas ao longo do processo, devolvidas e comentadas por escrito, foi notório que alguns não empreenderam esforços para se prepararem melhor. Ainda assim, todos responderam às questões em silêncio até encerrar o tempo previsto, de quarenta minutos. Recolhi o material e dirigi-me à turma seguinte, na sala ao lado.

**Aula 10.2 – Turma 302 (26/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (08h20min às 09h10min) – Avaliação Final – PROVA “Supercondutividade”**

Na chegada, a grande maioria da turma aguardava no corredor, defronte à porta da sala. Ao verem-me iniciaram uma algazarra e muita choradeira pedindo para adiar a prova e tudo o mais que é próprio de estudante em véspera de avaliações. Claro que faziam isso para brincar, mas era perceptível um fundo de verdade nos olhos dos menos preparados.

A fim de não perder tempo com “choramingos”, organizamos a turma de forma que, todos sentados, apenas com material de escrever sobre a classe (lápiz, caneta e borracha), pudessem receber a prova. Em silêncio, puseram-se a responder, embora vez ou outra alguém falasse sobre suas impressões à luz de suas expectativas com a prova.

Ao devolverem a avaliação para minha análise, muitos comentavam que apesar dos momentos como esse, de prova, tinham gostado de conhecer a Supercondutividade.

**Aula 10.3 – Turma 303 (26/11/2014, quarta-feira) – 1 período – (09h10min às 10h) – Avaliação Final – PROVA “Supercondutividade”**

Por motivos que passo a explicar, senti necessidade de antecipar a aplicação da prova na turma 303 para o terceiro período ao invés de aplicá-la no horário normal, no quinto período: percebi que se formava um movimento de troca de informações junto aos colegas que já tinham respondido à prova. Sendo assim, foi possível “negociar” com a professora de Química que, muito compreensiva e

colaborativa, aceitou emprestar seu horário de aula para eu poder aplicar a prova de Física. A troca de horários foi possível porque, coincidentemente, a professora tinha disponibilidade de dar sua aula nessa turma no horário destinado à Física. Dessa forma, pude garantir uma avaliação equânime, dado que as questões eram iguais para todas as turmas.

Esse fato não condizia com o perfil dessa turma, mas possivelmente por conta do nervosismo e da curiosidade, acabaram tendo essa atitude. Com a situação controlada, todos prestaram sua prova. Ao final, desejaram-me boa sorte em meu trabalho de mestrado e agradeceram por ter levado até eles um tema “tão interessante e moderno”.

Com o final desta aula na turma 303 dei por encerrada a aplicação do projeto.

Percebi que entre os alunos o assunto permaneceu como tema de conversa durante a semana seguinte. Um aluno encaminhou-me por uma rede social um vídeo sobre levitação magnética de um skate me questionando sobre se se tratava da aplicação da supercondutividade. Percebi, então, que o assunto fora instigante.

A prova foi uma atividade necessária como um dos mecanismos de verificação de aprendizagem previstos no colégio. Em suas questões, buscou-se retomar alguns aspectos significativos do conteúdo trabalhado ao longo de todo o projeto, como: resistividade, supercondutividade, interpretação de gráficos, efeito Meissner, aplicações da supercondutividade, cerâmica supercondutora YBaCuO, etc. com o intuito de perceber o que foi apreendido pelo estudante.

Embora as turmas tivessem demonstrado características diferentes e graus de envolvimento curiosamente também diferentes, o desempenho na prova foi muito parecido. As respostas discursivas exigiam que o aluno pensasse para formulá-las com suas palavras e, ao externá-las, deixava pistas de como o conhecimento estava organizado em sua estrutura cognitiva.

Foi comum nas turmas que questões discursivas ficassem completamente em branco, sem nenhuma resposta. Mas isso ocorreu precisamente com aqueles alunos

que também foram menos esforçados ao longo dos trimestres anteriores. Assim, isto não representou um resultado significativamente negativo. Em cada turma, cerca de 50% dos estudantes apresentou uma construção satisfatória da aprendizagem<sup>51</sup>, resultado bastante animador, sobretudo se levarmos em consideração que esse público nunca ouvira falar em Supercondutividade antes de participar do projeto.

---

<sup>51</sup> Construção satisfatória da aprendizagem, ou simplesmente CSA, é o conceito emitido para alunos com bom desempenho escolar que o atual sistema público de ensino dá como retorno para eles, seus responsáveis e à sociedade através dos instrumentos de avaliação e do boletim escolar.

## 7. RESULTADOS

O módulo aqui apresentado teve o objetivo de introduzir o tema Supercondutividade de uma maneira interessante, buscando despertar no aluno a curiosidade em avançar nos estudos e na pesquisa deste fantástico fenômeno; mostrando que o estudo de fenômenos físicos novos possibilita o avanço do conhecimento e também tecnológico nos mais variados aspectos das necessidades humanas, uma vez que se busca estudá-los para entendê-los e para utilizá-los em nosso proveito.

A aplicação deste projeto mostrou que é viável desenvolver este tema com maior detalhamento do que os livros de textos do Ensino Médio oferecem. Os alunos gostaram do assunto, gostaram de conhecer o *Efeito Meissner*, a levitação magnética e de pensar e imaginar novas possibilidades de aplicação do fenômeno. Na Aula 5, por exemplo, quando estudamos o *Efeito Meissner*, os alunos começaram a pensar como seriam os carros do futuro com uma tecnologia baseada neste fenômeno. Impressionaram-se e entusiasmaram-se ao assistir o vídeo sobre esse efeito e da levitação magnética muito estável. Isto indicou, em nosso entendimento, que o tema foi instigante.

Os alunos conseguiram relacionar que a levitação, por exemplo, é uma consequência de um efeito que tem por trás a Supercondutividade, um fenômeno físico inusitado! Nessa mesma aula, os alunos também viram que uma das tecnologias do “trem bala” pode advir da aplicação da supercondutividade, o que conferiu aprendizado e instigou a curiosidade.

O “trem bala” do tipo trem de levitação magnética (MagLev<sup>52</sup>) é o que há de mais moderno em termos de transporte coletivo terrestre. Com a tecnologia atualmente utilizada, ele se torna caro e a Supercondutividade tem acenado com a possibilidade de uma tecnologia muito melhor e mais barata, que poderá ser utilizada não somente em trens de alta velocidade, mas também em veículos substitutivos ao automóvel tradicional. Na primeira aula, quando se fez uma

---

<sup>52</sup> Sigla para Magnetic Levitation, ou Levitação Magnética.

introdução à Supercondutividade, citando algumas aplicações já existentes do fenômeno e indicando outras como promessa, foi possível perceber que os alunos tinham curiosidade em conhecer o funcionamento do “trem bala” e ao saberem que a Supercondutividade poderia promover uma tecnologia mais barata e ecologicamente limpa para implementá-lo, o tema serviu como estímulo para levá-los a querer saber mais. O resultado foi percebido como um prazer em estudar o assunto.

Assim, entende-se que foi possível levar para a sala de aula um assunto que interessou aos alunos, despertando curiosidade e interesse pela Física.

Quanto ao desenvolvimento cognitivo, no decorrer das aulas, percebeu-se que o modo como a proposta foi desenvolvida pareceu favorecer a ativação de esquemas diversos e possivelmente promover um melhoramento dos mesmos ou até o desenvolvimento de novos esquemas para dar conta das novas situações apresentadas.

Na segunda aula, por exemplo, podemos citar o fato de que os alunos foram percebendo que a resistência elétrica está relacionada com características intrínsecas do objeto condutor: comprimento, espessura e tipo de material de que é feito. A resposta dada por uma aluna na Atividade 1 (Figura 21), que consistiu em argumentar sobre tais relações, parece revelar conceitos em ação, como propõe Vergnaud.

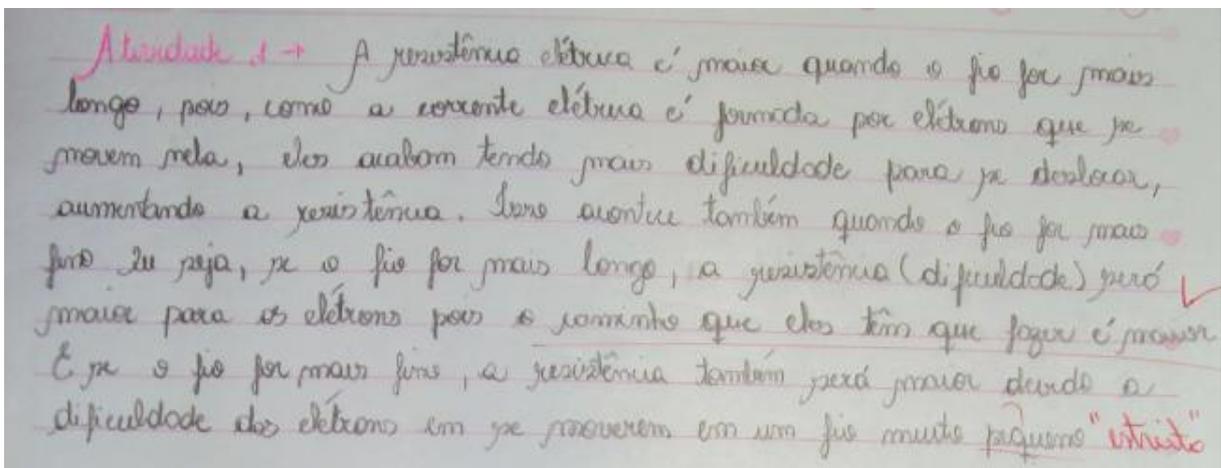


Figura 21: Resposta de uma aluna à Atividade 1 da primeira avaliação.

Transcrição: “A resistência elétrica é maior quando o fio for mais longo, pois, como a corrente elétrica é formada por elétrons que se movem nela, eles acabam tendo mais dificuldade para se deslocar, aumentando a resistência. Isso acontece também quando o fio for mais fino. Ou seja, se o fio for mais longo, a resistência (dificuldade) será maior para os elétrons, pois o caminho que eles têm que fazer é maior. E se o fio for mais fino, a resistência também será maior devido a dificuldade dos elétrons em se moverem em um fio muito pequeno”.

Outro exemplo, nessa mesma atividade, sinaliza que vários alunos associaram a resistência elétrica com irregularidades na distribuição dos íons da rede cristalina e entenderam que impurezas, como a presença de íons de outras substâncias nessa rede e também a vibração dos íons devido à temperatura compõem um conjunto de fatores que contribuem para o aumento da resistência elétrica no material. Isto se verifica na figura 22, que contém a expressão de um aluno (com suas próprias palavras) em resposta à Atividade 1.

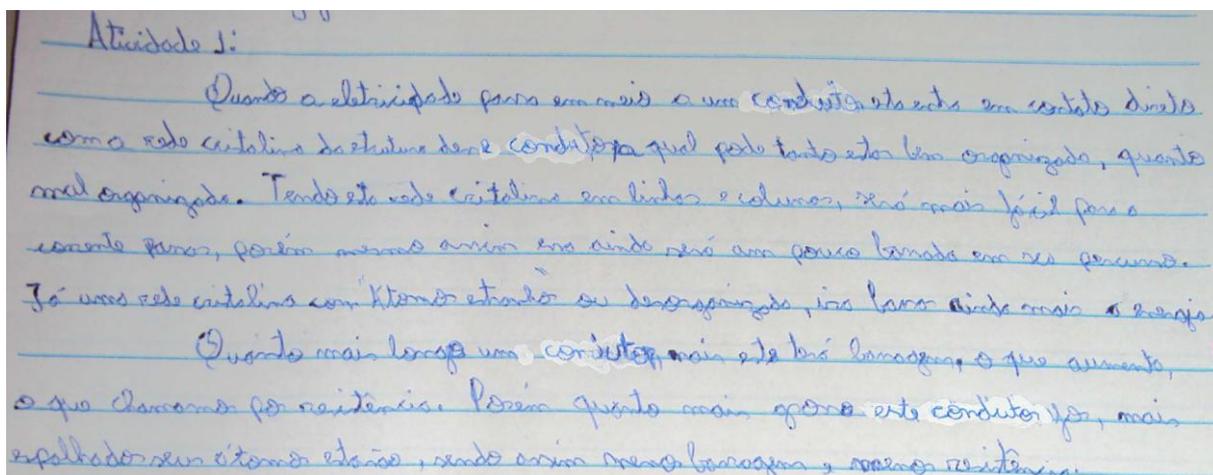


Figura 22: Resposta de um aluno à Atividade 1 da primeira avaliação.

Transcrição: “Quando a eletricidade passa em meio a um condutor, esta entra em contato direto com a rede cristalina da estrutura desse condutor, a qual pode estar bem organizada, quanto mal organizada. Tendo esta rede cristalina em linhas e colunas, será mais fácil para a corrente passar, porém mesmo assim essa ainda será barrada em seu percurso. Já uma rede cristalina com “átomos estranhos” ou desorganizada, irá barrar ainda mais a energia.

Quanto mais longo um condutor, mais este terá barragem, o que aumenta o que chamamos de resistência. Porém quanto mais grosso este condutor for, mais

*espalhados seus átomos estarão, sendo assim, menos barragem, menos resistência.”*

Todos esses aspectos permitiram aos alunos construir argumentos para conceitualizarem a resistividade, ou seja, eles foram atribuindo significado a esse conceito. Embora os alunos se expressassem com alguns tropeços, foi possível captar na essência das respostas indícios de relações conceituais que eles estavam estabelecendo. Conforme Moreira, 2002:

Os alunos, em geral, não são capazes de explicar ou expressar em linguagem natural seus teoremas-em-ação, ainda que sejam capazes de resolver certas tarefas (situações). Não só alunos, qualquer pessoa muitas vezes é incapaz de colocar em palavras coisas que faz muito bem, conhecimentos que tem. Há um hiato, entre a ação e a formalização da ação (*ibid.*, p. 22).

A contribuição do professor como mediador, na visão de Vergnaud, começa com a escolha de situações novas para seus alunos, situações estas que precisam ser adequadas para que possam dar sentido aos conceitos que se pretende trabalhar. Assim, entende-se que com as atividades diversificadas desenvolvidas durante as aulas (demonstrações, vídeos, textos de apoio, gráficos etc.) conseguiu-se cumprir este propósito.

Na Aula 3, na primeira situação apresentada, que era sobre o comportamento da resistividade em altas temperaturas, os alunos puderam mobilizar seus esquemas preexistentes para interpretar o gráfico. Na segunda situação apresentada, que compunha o comportamento da resistividade, nesse momento em baixas temperaturas, houve uma desestabilização nos esquemas prévios dos alunos porque viram que os resultados experimentais eram diferentes do que eles haviam previsto. Isso pareceu levá-los a questionar os motivos de tal fato, pois, inicialmente, alguns alunos associaram a resistividade apenas à agitação térmica dos íons da rede cristalina, enquanto outros associaram a resistividade também à mobilidade dos elétrons livres, sem levar em consideração outros aspectos invariantes frente à temperatura como, por exemplo, impurezas da rede cristalina. Essas situações-problema foram proporcionando conhecimento ao aluno e sentido acerca da

resistividade e da condução elétricas, favorecendo uma melhor compreensão a respeito da supercondução, tema que foi tratado em aulas posteriores.

As discussões estabelecidas em sala de aula, algumas vezes provocadas pelo professor e outras vezes pela inquietação dos próprios alunos em função de suas curiosidades, também constituíram ricas situações que pareceram mobilizar seus invariantes operatórios, que são os conhecimentos contidos nos esquemas (*conceitos-em-ação* e *teoremas-em-ação*, no dizer de Vergnaud).

Um exemplo a ser citado é o da aula 7, onde inquietações dos alunos provocaram discussão a respeito da interpretação do fato de que os íons não se aproximavam do local onde o elétron estava: “*Se deve à carga elétrica?*”; “*O elétron atrai os ‘átomos’?*”, foram algumas das perguntas feitas pelos alunos. Outras colocações também se destacaram, como por exemplo, ainda na aula 7 um aluno exclamou: “*Claro! Por isso que precisa resfriar o material.*” E ainda: “*as ondulações não se formam se os íons estiverem se movendo*”.

E, assim, na maioria das aulas houve discussões nesses termos, como destacado nos relatos, discussões essas que proporcionaram envolvimento e maior entusiasmo pelo assunto.

Isso também ocorreu com os gráficos disponibilizados durante as aulas, que compuseram situações desafiadoras e significativas para os alunos, uma vez que aprenderam e acharam interessante sua interpretação. Segundo o relato de alguns alunos, foi nesta aula que aprenderam a interpretar gráficos.

Conclui que o assunto dessa aula de física não somente proporcionou conhecimentos físicos, mas também proporcionou enriquecimento de seus esquemas que permite compreender e analisar outros tipos de gráficos. Segundo a Teoria dos Campos Conceituais os conceitos precisam ser trabalhados também por meio de suas representações simbólicas (componente R do triplete que constitui o conceito), e os gráficos são representações simbólicas por excelência.

Justifica-se, assim, a utilização de análise gráfica em algumas aulas. Nesse sentido (do componente R do conceito) também foram utilizadas, nas aulas, imagens por meio de slides e vídeos buscando favorecer a conceitualização mais precisa do fenômeno.

Outras situações oferecidas em sala de aula foram os questionários disponibilizados. Por meio desses questionários os alunos testaram os seus conhecimentos, relatando o entendimento que adquiriram sobre os assuntos apresentados neles e discutidos em aula. Conforme relatado na Aula 6, um destes questionários foi bastante prazeroso para os alunos em função de que estavam compreendendo o assunto nele abordado, principalmente na questão onde havia um gráfico a ser interpretado, pois entenderam o seu significado.

A atividade *WebQuest* desenvolvida no final foi estruturada para retomar e aprofundar todo o conteúdo que foi trabalhado ao longo das aulas do projeto, para enriquecer e estabilizar o campo conceitual. Foi constituída por vários links que davam acesso a diferentes materiais relacionados ao conteúdo e disponíveis na internet. A atividade proporcionou aos alunos conhecer o embasamento teórico que envolve todo o fenômeno da supercondutividade, como dito na proposta deste trabalho.

Os alunos entusiasmaram-se com esse recurso. Acharam bastante interessante o estudo orientado e o modo como foi apresentado, por ter sido uma atividade que envolveu a tecnologia digital e a internet, que lhes é tão familiar. Na medida em que acessavam os sítios, achavam interessante o que encontravam e chamavam-me para comentar os conteúdos que tinham relação com o assunto da Supercondutividade. Iam se dando conta das informações contidas nestes sítios, muitas das quais não tinham sido mencionadas durante as aulas e foram entendidas como informações complementares e curiosidades interessantes.

Houve ainda o fator motivacional de os alunos poderem continuar a atividade em outro momento, em outro computador, sem ter que recomeçar ou copiar nada, pois o trabalho realizado ficou salvo na “nuvem”. Também interessante foi a disponibilização dos *links*, de forma que puderam “navegar” de dentro da *WebQuest*.

Esse era realmente o objetivo da apresentação do estudo orientado, ou seja, que este fosse uma forma diferente e atrativa, e como dito na proposta deste trabalho, pudesse colocar os alunos em contato com diversos materiais já existentes, disponíveis na internet.

Um ponto não muito positivo foi o que se destacou nas Aulas 4 e 5, quando do desenvolvimento do experimento de indução eletromagnética, utilizando ímã, bobina, pilha e amperímetro, e a explicação do *efeito Meissner*. Houve participação dos alunos, porém se observou nas três turmas que não aconteceu a associação esperada. A ideia era que o comportamento diamagnético do supercondutor, observado no vídeo sobre o *efeito Meissner* lembrasse o aluno do comportamento diamagnético da bobina, analisado no experimento da aula anterior como uma consequência de indução de corrente na mesma (bobina). Isso não ocorreu em nenhuma das turmas, o que requereu um momento expositivo por parte do professor. A teoria de Verghnaud ajuda a compreender esta dificuldade, uma vez que a aprendizagem de um campo conceitual é lenta e progressiva, envolvendo avanços e recuos.

O desempenho na prova final foi bastante significativo para avaliar o êxito da proposta. No Quadro 2 apresenta-se, para cada uma das três turmas do Ensino Médio Politécnico nas quais as aulas foram desenvolvidas, a porcentagem de alunos que sinalizaram “construção satisfatória da aprendizagem (CSA)”, “construção parcial da aprendizagem (CPA)” e “construção restrita da aprendizagem (CRA)”, conceitos oficiais do sistema da rede pública estadual de ensino. Observa-se que os resultados foram bastante parecidos entre as três turmas. O índice de alunos que alcançaram o conceito CSA representa quase a metade do total de alunos, o que entendemos ser um bom resultado, uma vez que, para todos os estudantes envolvidos, esse foi o primeiro (e, quiçá o único) contato com o tema Supercondutividade. O elevado índice para o conceito CRA, por outro lado, não reflete verdadeiramente uma dificuldade de compreensão. Alguns dos alunos incluídos nessa estatística frequentam a escola apenas para cumprir alguma determinação e não empreendem esforço para aprender os conteúdos escolares. Em função disso, esses alunos pouco ou nada escreveram na prova.

Quadro 2 – Resultado geral na prova final

Conceito	Turma 301	Turma 302	Turma 303
CSA	40%	42%	48%
CPA	16%	23%	22%
CRA	44%	35%	30%

Por fim, foi possível perceber, por meio dos relatos das aulas, que de um modo geral as turmas eram bem diferentes e o que funcionou bem em uma turma, muitas vezes, não funcionou tão bem nas outras. Destaca-se, por exemplo, as participações nas discussões em aula, que por vezes eram muito boas em uma turma e mais fracas em outras.

O fato de que em determinada turma a participação não ocorreu de forma significativa não pode ser entendido como indício de que o tema não tenha sido aceito ou compreendido, tampouco que não tenha sido interessante. Ocorre que outros fatores não diretamente relacionados à aula interferiram em alguns momentos. Cabe ao professor identificar isso e buscar estímulos de acordo com as características da turma, dos momentos de aprendizagem. Nestas ocasiões entram em ação os saberes experienciais dos docentes, tão importantes quanto o domínio do conteúdo científico.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como argumentado na introdução deste trabalho, o mundo contemporâneo está tão tecnologicamente desenvolvido que os conhecimentos científicos embutidos até mesmo nos mais difundidos artefatos de uso cotidiano como telefone celular, GPS e outros, já não são aqueles do século passado, mas envolvem cada vez mais os conhecimentos científicos de fronteira.

Entre os desenvolvimentos científicos do último século estão os da Física Moderna e Contemporânea, que contribuíram e continuam contribuindo de forma decisiva na construção de novos conhecimentos e novas tecnologias.

Neste contexto, a educação científica que precisamos promover nas escolas deve incluir a Física Moderna e Contemporânea, sob pena de ensinarmos apenas um conhecimento ultrapassado e desinteressante.

Observamos na análise de alguns livros didáticos que estes têm abordado a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio há algum tempo, oferecendo como porta de entrada a Teoria da Relatividade de Einstein e os primórdios da Mecânica Quântica, como tópicos principais, enquanto outros temas relevantes e talvez menos complexos como é o caso da Supercondutividade, são tratados de forma marginal.

Supercondutividade é um fenômeno de conhecimento relativamente recente que tem excelentes expectativas de oferecer uma revolução tecnológica uma vez que apresenta grande potencial de aplicabilidade, como já tem ocorrido na medicina, por exemplo. Assim, vale muito a pena explorar e compartilhar esse conhecimento, bem como estimular o aluno para a ciência por meio deste tema.

Esse foi o principal fator motivador para a escolha da Supercondutividade como tema de estudo e divulgação no presente projeto.

O tema da Supercondutividade abordado neste trabalho, como um primeiro contato dos alunos com o assunto, foi possível sem necessidade de aprofundar cálculos matemáticos, característicos das aulas de Física e responsáveis pela “má fama” que a disciplina tem junto aos alunos do Ensino Médio.

Nesse sentido, foi feita uma abordagem mais fenomenológica e conceitual. Essa experiência mostrou que é absolutamente viável o desenvolvimento de temas da Física Moderna no Ensino Médio. Em especial o tema abordado teve grande aceitação pelos alunos.

O objetivo de levar até os estudantes novos conhecimentos científicos foi também mostrar que a ciência é uma construção humana que resultou e continua resultando em grandioso êxito. Esta é, por si só, uma razão importante para investir esforços, ou seja, o direito à aquisição de uma cultura científica por parte de todos os cidadãos. Os alunos pareceram reconhecer esse aspecto.

Do ponto de vista da operacionalização, na atividade da *WebQuest* os alunos tiveram acesso a leituras envolvendo aspectos históricos associados à “descoberta” da Supercondutividade, bem como a suas aplicações atuais.

Essas leituras proporcionaram a eles uma visão global de todo o processo, deixando-os a par das limitações ainda não superadas pela pesquisa e que dificultam o avanço da aplicação deste fenômeno, bem como mostrando que o conhecimento científico demanda muito esforço de pesquisa, intercâmbio de informações e atitudes colaborativas.

A teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud, mostrou-se bastante apropriada para o desenvolvimento do tema, pois contribuiu para despertar no professor uma nova visão de como ensinar, promovendo e planejando situações em sala de aula que deem sentido aos conceitos a serem trabalhados.

As situações colocadas para os alunos fizeram com que estes se sentissem desafiados e integrados a elas, conduzindo-os à necessidade de explicá-las e resolvê-las, levando-os à apropriação do conhecimento.

Normalmente este aspecto [a problematização] não é devidamente considerado no planejamento e execução das aulas mais tradicionais.

Conforme já mencionado no capítulo Metodologia, o projeto foi aplicado para alunos de uma escola pública. De modo geral, os alunos eram oriundos de classes de baixa renda, que trabalham no contra turno. Muitos eram do interior do município e dedicam-se à agricultura, não dispondo de tempo para aprofundar seus estudos, embora tenham recursos para isto.

Ainda que tenha havido algumas dificuldades em certos aspectos para a implementação do projeto, os objetivos, em nossa avaliação, foram alcançados e foi possível obter resultados satisfatórios.

Nossa intenção é que esta proposta de ensino, bem como seu produto educacional, sirva de inspiração para outros planejamentos didáticos com o mesmo tema ou em outros temas da Física Moderna e Contemporânea, uma vez que procuramos mostrar que foi possível aplicá-lo em uma escola pública, sem a exigência de elaborados recursos, além de ter sido possível incluir a unidade nas aulas regulares.

O sentido é buscar tornar as aulas mais reflexivas para os estudantes e incitar o professor a sair da posição tradicional de transmissor do conhecimento, assumindo outro papel que é o de mediador da transmissão do conhecimento. Além disso, a experiência didática aqui narrada mostrou que o aluno pode evoluir criticamente e se tornar um agente ativo na construção de seus campos conceituais e adquirir a convicção de que a escola não é limite, mas, pelo contrário, quando esta e o professor saem de cena, a busca pelo conhecimento pode continuar.

## REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. P. *WebQuest um recurso dinâmico otimizando o trabalho do professor: relato de experiências deste recurso usado em aulas com alunos do ensino fundamental e médio*. Disponível em:

<http://meuartigo.brasilecola.com/educacao/webquest-um-recurso-dinamico-otimizando-trabalho-professor-.htm>. Acesso em 03/06/2014.

ARAÚJO-MOREIRA, F. M.; LANFREDI, A. J. C.; CARDOSO, C. A. MALUF, W. O. *Fascinante Mundo dos Materiais Supercondutores*. Departamento de Física. Universidade Federal de São Carlos/SP, 2002. Disponível em:

[http://www.univerciencia.ufscar.br/n\\_2\\_a1/super.pdf](http://www.univerciencia.ufscar.br/n_2_a1/super.pdf). Acesso em 13/07/2014.

BASSALO, J. M. F. Supercondutividade de Alta Temperatura e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 1987. *Curiosidades da Física*. Disponível em:

<http://www.seara.ufc.br/folclore/folclore256.htm>. Acesso em 10/08/2014.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V.; LINSINGEN, I. *Educação Tecnológica: enfoques para o ensino de engenharia*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2008, 231 p.

BERNARDES, L. A. B.; PEREIRA, L. A. A.; SILVA, S. A.; SOUZA, G. B. *O uso de Mapas Conceituais no Ensino de Física Moderna e Contemporânea*. 12º Conex. Disponível em: <http://sites.uepg.br/conex/anais/artigos/414-1662-1-RV-mod.pdf>. Acesso em 20/08/2014.

BRANÍCIO, P. S. Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a mini-revolução provocada pela “redescoberta”  $MgB_2$ : Uma Abordagem Didática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, n. 4, 2001, 381.

BRASIL, Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Básica. *Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (Parecer CNE/CEB Nº 5/2011). Brasília: 2011. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_content&id=16368&Itemid=866](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&id=16368&Itemid=866). Acesso em 27/07/2014.

BRASIL. Ministério da Educação. *Portal do Professor*. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>. Acesso em 18/07/2014.

BRASIL. Ministério da Educação. *Recursos da Internet para Educação*. Disponível em: <http://webeduc.mec.gov.br/webquest/>. Acesso em 03/07/2015.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs)*. Brasília: MEC/SEF, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média. *PCN+: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC/SEF, 2002.

CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A.; GRINGS, E. T. de O. Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações, à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. 1, 2008. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/download/221/213>. Acesso em 12/06/2014.

CARVALHO JR., G. D.; AGUIAR JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.25, n.2, p.207-227, 2008.

CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. *Roteiro para Construção de um Planejamento de uma Unidade Didática*. Teorias de Aprendizagem no Ensino de Física. Instituto de Física – UFRGS, 2010.

CHAMPANGNATTE, D. M. O.; NUNES, L. C. A inserção das mídias audiovisuais no contexto escolar. *Educação em Revista*. vol. 27 nº 3, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-46982011000300002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-46982011000300002). Acesso em 03/06/2014.

COSTA, M. B. S. *Aplicações da Supercondutividade – Computador Quântico*. Blog Divulgando a Supercondutividade. Disponível em: <http://supercondutividade.blogspot.com.br/2012/12/textos-em-portugues.html>. Acesso em 15/09/2014.

COSTA, M. B. S.; PAVÃO, C. Supercondutividade: um século de desafios e superação. *Revista Brasileira de Ensino Física*, v. 34, nº 2, São Paulo, abr./jun. 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172012000200017&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172012000200017&lng=pt&nrm=iso&tlng=en). Acesso em 07/08/2014.

DODGE, B. In: MASCARENHAS (2005). *Educação sem internet? Só no monastério*. Disponível em: <http://www.educacao.sp.gov.br/noticias/educacao-sem-internet-so-no-monasterio>. Acesso em 10/08/2014.

ESCOLA DE VERÃO DE FÍSICA. Universidade do Porto. *Projetos Supercondutividade*. 3ª Edição. Disponível em: <http://e-fisica.fc.up.pt/edicoes/3a-edicao/projectos/supercondutividade>. Acesso em 30/08/2014.

FARIAS, T.; NECKEL, L. *Supercondutividade e Efeito Meissner*. Disponível em: [http://men5185.ced.ufsc.br/trabalhos/64\\_efeito\\_meissner/index.html](http://men5185.ced.ufsc.br/trabalhos/64_efeito_meissner/index.html). Acesso em 01/07/2014.

HEYMANN, G.; VENTUROLI, T. Supercondutores, receita francesa para alcançar um recorde. *Revista Superinteressante*. Editora Abril, 1994. Disponível em: <http://super.abril.com.br/ciencia/supercondutores-receita-francesa-para-alcancar-um-recorde>. Acesso em 13/09/2014.

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOUME, Y. As Contribuições da Física para um Novo Ensino Médio. *Coleção Explorando o Ensino*, v. 7, 2003.

*Lei de Lens*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc](http://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc). Acesso em 12/10/2014.

LOCH, J.; GARCIA, N. M. D. Física Moderna e Contemporânea na Sala de Aula do Ensino Médio. *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/1335.pdf>. Acesso em 12/06/2014.

*Los motores del futuro*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=3zllrRKlvrY](http://www.youtube.com/watch?v=3zllrRKlvrY). Acesso em 20/10/2014.

LUIZ, A. M.; SANTOS, W. M. S. A Supercondutividade e suas Aplicações: Um tema para Aulas de Física no Ensino Médio. *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2005. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0454-1.pdf>. Acesso em 22/07/2014.

MACHADO, A. J. S.; SANTOS, C. A. M. Materiais Supercondutores Modernos. *Revista USP*, nº 92, 2012. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/viewFile/34922/37658>. Acesso em 12/09/2014.

*Magnetic Levitation*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms](http://www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms). Acesso em 08/10/2014.

MARITINEZ, L. G. *Estudo da Estrutura Cristalina do Composto Supercondutor  $Hg_{1-x}Re_xBa_2Ca_2Cu_3O_{8+8}$  - Hg,Re -1223*. Tese de Doutorado, IPEN/USP, 2005. Disponível em: [http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Luis%20Gallego%20Martinez\\_D.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Luis%20Gallego%20Martinez_D.pdf). Acesso em 12/09/2014.

MASSONI, N. T. Laboratório de supercondutividade e magnetismo: Um enfoque epistemológico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.26 n.2, p.237-272, 2009.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n.1, mar. 2002.

NETO, P. P.; OSTERMANN, F. *Supercondutividade*. Editora Livraria da Física, 2005. Disponível em:

[https://books.google.com.br/books?id=nsCC\\_MUa0HwC&pg=PA25&lpq=PA25&dq=a+quem+pertence+a+temperatura+cr%C3%ADtica+de+133+K%3F&source=bl&ots=JDkGXHeMe-&sig=sHnYnbk0HcCdWOTS-1Y-fmo1V1M&hl=pt-BR&sa=X&ei=WFBvVOPPCcujNqS5g\\_gJ#v=onepage&q=a%20quem%20pertence%20a%20temperatura%20cr%C3%ADtica%20de%20133%20K%3F&f=false](https://books.google.com.br/books?id=nsCC_MUa0HwC&pg=PA25&lpq=PA25&dq=a+quem+pertence+a+temperatura+cr%C3%ADtica+de+133+K%3F&source=bl&ots=JDkGXHeMe-&sig=sHnYnbk0HcCdWOTS-1Y-fmo1V1M&hl=pt-BR&sa=X&ei=WFBvVOPPCcujNqS5g_gJ#v=onepage&q=a%20quem%20pertence%20a%20temperatura%20cr%C3%ADtica%20de%20133%20K%3F&f=false). Acesso em 10/06/2014.

*O grafite que foge do ímã*. Vídeo disponível em:

[www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o](http://www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o). Acesso em 11/10/2014.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29 n. 3, São Paulo, 2007.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. O. Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 20, n. 3, p. 270-288, 1998.

ROCHA F. S.; FRAQUELLI H. A. Roteiro para a experiência de levitação de um ímã repelido por um supercondutor no Ensino de Física. *Revista brasileira de Ensino de Física*, v.26, n.1, p.11-18, 2004. Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-1117200400010000](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-1117200400010000). Acesso em 27/07/2014.

SANTOS, C. A. O Misterioso Mundo da Supercondutividade. *Instituto Ciência Hoje*. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/do-laboratorio-para-a-fabrica/o-misterioso-mundo-da-supercondutividade>. Acesso em 13/09/2014.

SANTOS, R.; SANTOS, E. O. A WebQuest interativa como dispositivo de pesquisa: possibilidades da interface livro no Moodle. *Educacao, Formacao & Tecnologias*, v. 7, p. 30-46, 2014. Disponível em: <http://eft.educom.pt/index.php/eft/article/view/412>. Acesso em 03/06/2015.

*Shanghai Transrapid*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/v/XGR-md9328Q](http://www.youtube.com/v/XGR-md9328Q). Acesso em 20/10/2014.

SIQUEIRA, M. R. P. *Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea*. Biblioteca Digital USP. *Teses e Dissertações*. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-04102012-133540/pt-br.php>. Acesso em 15/08/2015.

SOUZA, D. F. *Supercondutividade, um estudo sobre os seus 100 anos. Elementos para sua Divulgação Científica*. Dissertação de Mestrado, Manaus, 2012. Disponível em: <http://www.ppgfis.ufam.edu.br/Dissertacao/Daniel%20Souza>. Acesso em 12/09/2014.

*Super Levitação – supercondutor*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZYE](http://www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZYE). Acesso em 08/10/2014.

TOULMIN, S. *La comprensión humana - Volumen 1: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial, 1977, 523 p.

*Trem que desliza como cobra entra em testes em 2014*. Vídeo-reportagem disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0SL2Fq0cyT8>. Acesso em 31/10/2014.

*Tubo Antigravidade*. Vídeo disponível no canal “Manual do Mundo”: [www.youtube.com/watch?v=p1oV6sVpo4](http://www.youtube.com/watch?v=p1oV6sVpo4). Acesso em 11/10/2014.

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL. Notícias. Alunas do ensino médio participam de projeto sobre a supercondutividade. Disponível em: [www.ucs.br/site/ucs/noticias/1417724048](http://www.ucs.br/site/ucs/noticias/1417724048). Acesso em 24/10/2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Instituto de Física. *Projeto Supercondutividade*. Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/ensfis\\_fernanda/arquivos/materiais/supercondutividade/](http://www.if.ufrgs.br/ensfis_fernanda/arquivos/materiais/supercondutividade/). Acesso em 13/07/2014.

VIEIRA, D.M. Supercondutividade: uma proposta de inserção no Ensino Médio. Disponível em: [http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_8057\\_David%20Menegassi-V2.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8057_David%20Menegassi-V2.pdf). Acesso em 20/08/2014.

### **Livros didáticos revisados sobre o tema Supercondutividade:**

ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. *Física*. Vol. 3. Curitiba: Positivo, 2013.

BARRETO FILHO, B.; SILVA, C. X. *Física aula por aula: Eletromagnetismo, Ondulatória, Física Moderna*. Vol. 3, 2ª ed. São Paulo: FTD, 2013.

Edições SM. *Ser Protagonista Física*. 2ª ed. Ensino Médio 3º ano. São Paulo: SM, 2013.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. *Física 3*. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2014.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física*. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2011.

MENEZES, L. C. *et al. Coleção Quanta Física: Física 3º ano*. Vol. 3. São Paulo: PD, 2010.

PIETROCOLA, M. *et. al. Coleção Física em Contextos*. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2010.

YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. *Física para o Ensino Médio: Eletricidade Física Moderna*. Vol. 3, 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A: Apresentação Aula 1 – Introdução à Supercondutividade

# A Supercondutividade

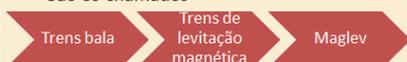
Slide 1

Você conhece estas figuras?



Slide 2

• São os chamados

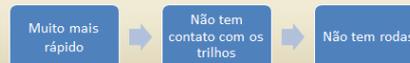


Slide 3

• São os chamados

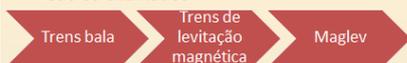


• Algumas de suas características:

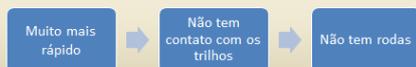


Slide 4

• São os chamados



• Algumas de suas características:



É um transporte que levita!

Slide 5

Mas quais as vantagens deste meio de transporte?

- Transporte de alta velocidade – mais de 400 km/h.
- Estável, seguro e bastante confortável.
- Pode chegar ao destino antes do que um avião.
- Não utiliza combustível e não polui a atmosfera.
- Requer menos energia elétrica para se movimentar do que trens elétricos convencionais.
- São silenciosos.
- Não tem atrito com trilhos, diminuindo desgastes.

Slide 6



Slide 7

## E o que está por trás de toda esta tecnologia?



Slide 8

Princípios da física moderna.




Mas neste processo, o principal fenômeno que se destaca é o da SUPERCONDUTIVIDADE.

Slide 9

- O que é supercondutividade?

É a possibilidade que alguns materiais têm de perder sua resistência elétrica quando submetidos a temperaturas extremamente baixas.

Slide 10

- Será que este fenômeno da supercondutividade é usado apenas para a construção de trens?



Slide 11

- Descoberta no início do século passado, a supercondutividade tem se tornado um fenômeno intrigante e muito interessante.
- Levou a vários desdobramentos práticos importantes e traz a promessa de grandes revoluções tecnológicas para a sociedade futura.

Slide 12

- Outras aplicações da supercondutividade

Ressonância Magnética



Direcionadores magnéticos no LHC



Slide 13

- Outras aplicações da supercondutividade

Supertransmissores de potência elétrica



Slide 14

Algumas possibilidades com a supercondutividade

Eletrônica...

Sensores Magnéticos...

Motores...

Baterias Mecânicas...

E muito mais!

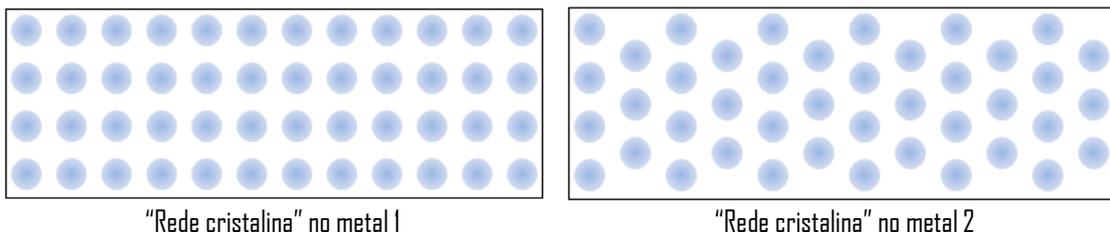
Slide 15

## APÊNDICE B: Texto de apoio – Aula 2

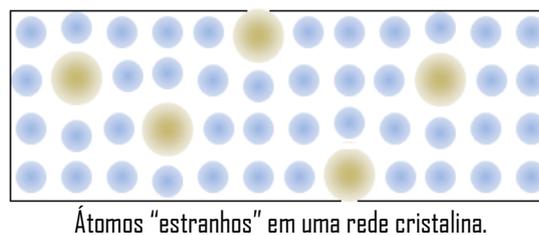
### Resistividade Elétrica

#### 1. Um modelo para metais e a condução elétrica

Para o estudo das propriedades eletrodinâmicas dos materiais é importante saber como a matéria está constituída e estruturada. Os cientistas investigam e constroem modelos que lhes servem de apoio para o entendimento dos fenômenos. Para compreender a condução elétrica dos metais, assume-se que os mesmos são formados por átomos que se dispõem no espaço de maneira ordenada formando linhas e colunas, constituindo uma estrutura conhecida como rede cristalina. Assim organizados, os átomos tornam-se íons positivos, pois acabam perdendo seus elétrons de valência que passam a “perambular” quase livres por todo o volume do metal, inclusive junto aos átomos dos quais eles provêm. São esses elétrons que, submetidos ao campo elétrico de uma pilha, por exemplo, geram a corrente elétrica. (Essa descrição é conhecida como *modelo do gás de elétrons*). Cada metal (ferro, alumínio, cobre, ouro etc.) é formado com uma rede cristalina própria. A título de ilustração, as figuras abaixo representam muito simplificada e em duas dimensões como pode ser a organização atômica num metal.

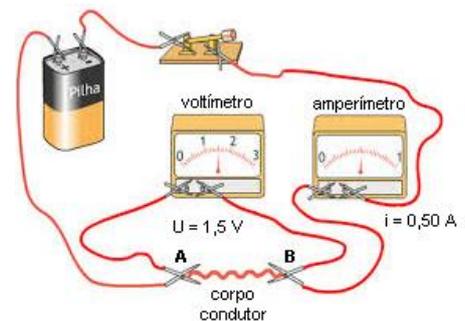


Os metais reais, entretanto, não possuem rede cristalina perfeitamente organizada. Muitas vezes não são puros, pois têm átomos de outras substâncias diluídos no meio. Isso produz distorções nas fileiras da rede. Além disso, segundo outro modelo científico sobre a matéria, o *cinético-molecular*, o calor gera vibrações nos íons da rede fazendo-os sair ligeiramente de suas posições de equilíbrio constantemente. Então as vibrações térmicas, a presença de átomos de outros elementos, esmagamentos e outros fatores alteram a organização e os espaços entre íons.



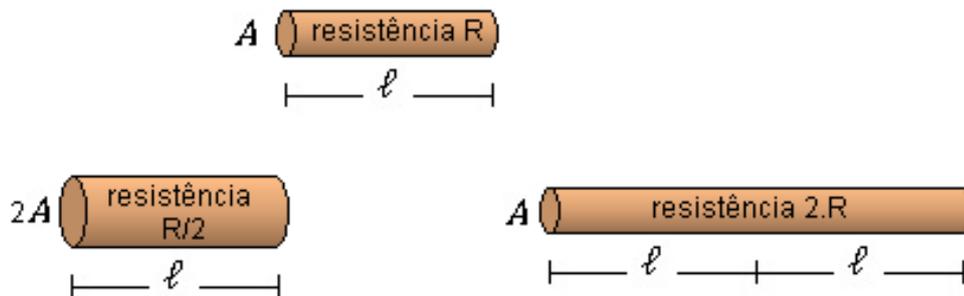
#### 2. Resistência Elétrica

É sabido que quando submetemos um objeto de qualquer material condutor a uma diferença de potencial, conectando os polos de uma pilha elétrica, por exemplo, em dois pontos diferentes do objeto de modo a formar um circuito elétrico fechado, pode-se gerar uma corrente elétrica por todo o circuito. Isso vai depender da resistência elétrica oferecida pelo circuito e, principalmente, pelo objeto. Georg Simon Ohm (1787-1854) definiu a medida da resistência elétrica em um objeto como a razão do valor



da tensão elétrica aplicada entre dois pontos pela intensidade da corrente elétrica que se estabelece entre eles. Matematicamente, essa definição é expressa por  $R = U/i$ , onde  $U$  é a diferença de potencial e  $i$  é a corrente. Devido a essa resistência, os elétrons perdem energia aquecendo o condutor, gerando o efeito Joule.

Analisando a resistência elétrica em fios metálicos (os metais, em geral, são bons condutores elétricos), foi possível notar que sua medida possui dependência direta com o comprimento do fio e dependência inversa com a área da seção transversal deste. Em outras palavras, quanto mais longo e/ou mais fino o fio, maior valor tem sua resistência elétrica.



A resistência elétrica de um condutor depende dentre outras coisas, do seu formato geométrico.

#### Atividade 1

- Você consegue identificar as razões dessa relação? Com base nas ideias do texto e do que você aprendeu nas aulas de resistência elétrica, formule uma explicação coerente para ela ser maior se o fio condutor for mais longo. Também formule uma explicação para argumentar que a resistência elétrica é maior se o fio for mais fino.

Porém, isso não é tudo. A tabela abaixo contém informações sobre a tensão aplicada e a correspondente corrente elétrica estabelecida em fios condutores à temperatura de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , feitos de metais diferentes. Esses fios possuem comprimentos iguais e espessuras iguais (portanto, áreas de seção transversal iguais).

material	U (V)	i (A)	R ( $\Omega$ )
Fio de prata	1	12,58	
Fio de cobre	1	11,90	
Fio de ouro	1	8,20	
Fio de alumínio	1	7,09	
Fio de ferro	1	2,00	

#### Atividade 2

- Comparando as intensidades de corrente elétrica estabelecidas em cada fio pela mesma tensão elétrica, conclui-se que a condutividade de algum fio é melhor do que de outro? (Desenvolva sua resposta).
- Complete a tabela calculando a resistência elétrica de cada fio.
- Os valores das resistências elétricas podem confirmar a resposta à primeira questão? Justifique.
- Que fator pode ter gerado as diferenças observadas na tabela?

- Formule uma explicação lógica e coerente com as informações do texto para as causas dos resultados acima.

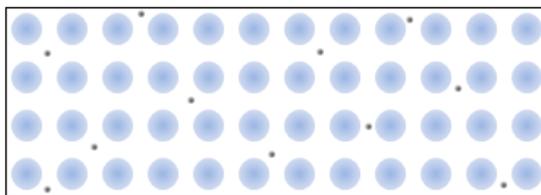
### 3. Resistividade Elétrica

Conforme a leitura anterior, diversos são os fatores que determinam a resistência elétrica de um corpo material. Pudeste perceber que não só fatores geométricos (formato), mas também o material de que é feito afetam a resistência elétrica. Dito de forma mais precisa, a resistência elétrica depende também de fatores físicos intrínsecos ao material que constitui o corpo. Para considerar estes fatores intrínsecos criou-se uma nova grandeza física, denominada *resistividade*.

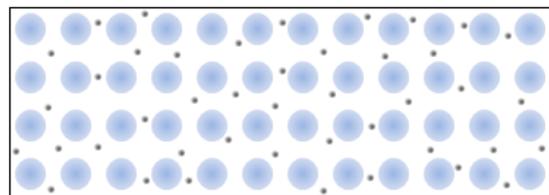
Resistividade elétrica é, portanto, a propriedade dos materiais que os definem como bons ou maus condutores de corrente elétrica. É ela que atrapalha o movimento dos elétrons livres que compõem a corrente elétrica. De modo simplificado, podemos dizer que a resistividade está associada à interação entre os elétrons que se deslocam e os íons que compõem a rede cristalina do metal. Esta interação é relacionada ao livre caminho médio dos portadores de carga, os elétrons. Entenda-se por livre caminho médio a distância média que um elétron consegue percorrer sem “bater” em outro elétron ou nos íons da rede.

São alguns dos fatores que contribuem para a resistividade:

- o modo como os íons da rede estão dispostos (arranjo atômico);
- a presença ou não de átomos de outros elementos na rede (impurezas);
- maior ou menor agitação térmica tanto dos íons quanto dos elétrons livres;
- a densidade de elétrons livres disponíveis para a condução etc.

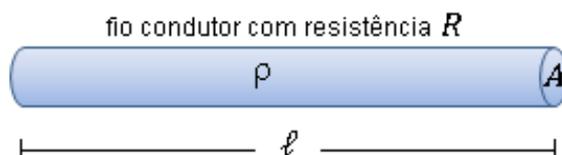


Metal com pouca densidade de elétrons livres.



Metal com bastante densidade de elétrons livres.

A resistividade elétrica é representada pela letra grega “ $\rho$ ” e, em unidades SI, sua intensidade é expressa em ohm vezes metro ( $\Omega \cdot m$ ), embora seja comum expressá-la em outras unidades também. Matematicamente, sua relação com a resistência elétrica pode ser representada através da fórmula abaixo, que sintetiza o que se conhece como a segunda Lei de Ohm para a resistência elétrica:



$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Tabela de resistividade de alguns materiais, a 20°C.

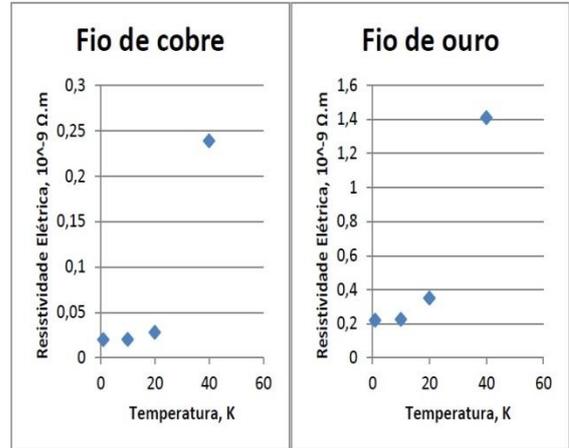
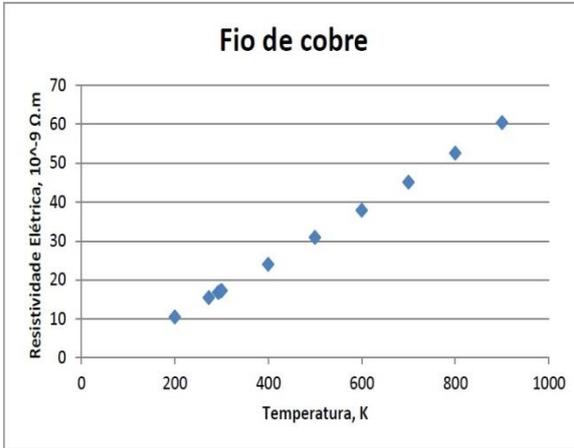
Material	Resistividade [ $\rho$ ] $\Omega \cdot m$
Alumínio	$2,83 \times 10^{-8}$
Latão	$7,00 \times 10^{-8}$
Cobre recozido	$1,72 \times 10^{-8}$
Cobre duro	$1,78 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,45 \times 10^{-8}$

Chumbo	$22,10 \times 10^{-8}$
Níquel-cromo	$100,00 \times 10^{-8}$
Platina	$10,00 \times 10^{-8}$
Prata	$1,64 \times 10^{-8}$
Estanho	$11,50 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,52 \times 10^{-8}$
Zinco	$6,23 \times 10^{-8}$
Ferro	$9,68 \times 10^{-8}$

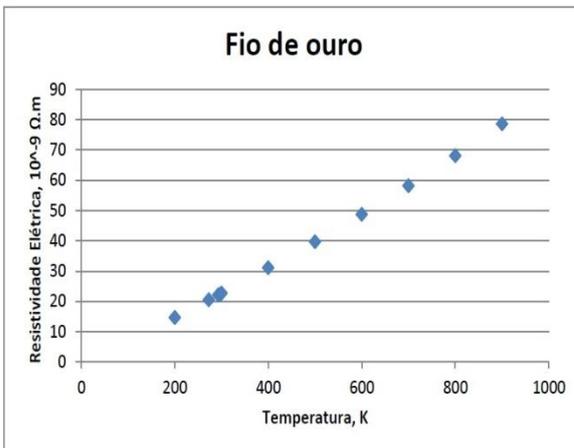
**Atividade 3** – Responda as questões abaixo.

- 1) Deseja-se obter um fio de *nicromo* com um milímetro de diâmetro e que apresente, à temperatura de 20 °C, resistência elétrica de sete ohms. De quantos metros deve ser o seu comprimento?
- 2) Se tomarmos dois fios metálicos, um de estanho e um de ferro com áreas de secção reta iguais, podemos considerar que suas resistências elétricas serão iguais, à temperatura de 20 °C?
- 3) Descubra em que condição os fios citados na questão anterior podem apresentar resistências elétricas iguais um em relação ao outro.

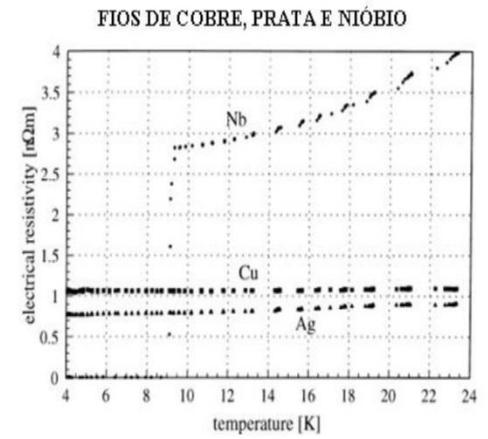
APÊNDICE C: Gráficos trabalhados na aula 3



Ficha 2 – Resistividade em baixas temperaturas (próximo a 0 K)



Ficha 1 – Resistividade em altas temperaturas (> 200 K)



Ficha 3 – Resistividade em baixas temperaturas para o nióbio

## APÊNDICE D: Texto de apoio – Aula 3

### A “Descoberta” da Supercondutividade



Figura 1: Heike Kamerlingh Onnes - 1853 a 1926

O físico holandês Heike Kamerlingh Onnes, fundador de um importante laboratório de criogenia em 1904 foi um grande pesquisador de fenômenos a baixas temperaturas. Em 1906 conseguiu, com seus colaboradores, liquefazer o hidrogênio, obtendo temperaturas inferiores a  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ou 20 K até o limite de 14 K (ponto de solidificação do hidrogênio).

Nessa época, com relação à influência da temperatura na condutância elétrica dos materiais havia o seguinte pensamento: acreditava-se que, se fosse possível baixar a temperatura de um metal condutor para valores próximos do zero absoluto (0 K ou  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ocorreria uma das seguintes situações: ou os íons da rede cristalina do metal diminuiriam sua vibração térmica até parar completamente e, então, os elétrons livres passariam a se mover sem obstáculos e sem perdas de energia por colisão OU tanto os íons quanto os elétrons “congelariam”, perdendo sua mobilidade e não seria mais possível ocorrer correntes elétricas de valor importante, o que equivale a considerar que a resistência elétrica aumentaria muito, para níveis infinitamente elevados. Para Onnes, a primeira opção fazia mais sentido, mas admitia que apenas para metais puros a resistência se tornaria zero e se pôs a investigar.

Melhorando suas técnicas de abaixamento da temperatura, em 1908 conseguiu a façanha de obter temperaturas de até 1 K, por meio da liquefação de outro elemento, o hélio que em temperatura ambiente, assim como o hidrogênio, apresenta-se como um gás. Em 1910 fez seu primeiro experimento para observar como a resistência elétrica muda com a temperatura para um fio de platina que foi sendo resfriado. Notou que sua resistência elétrica diminuía, mas tendendo a um valor positivo até a temperatura atingir 4,5 K e depois mantinha-se praticamente constante (sem tender a zero), não dependendo mais da temperatura. Onnes entendeu, com isso, que os elétrons não “congelam” como se supunha e também que a platina que utilizara não era pura. Decidiu, então, refazer o experimento com mercúrio que, pela tecnologia da época, era o metal que melhor podia-se purificar. E também porque o gráfico conhecido da resistência do mercúrio disponível na época indicava grande inclinação em 14 K.

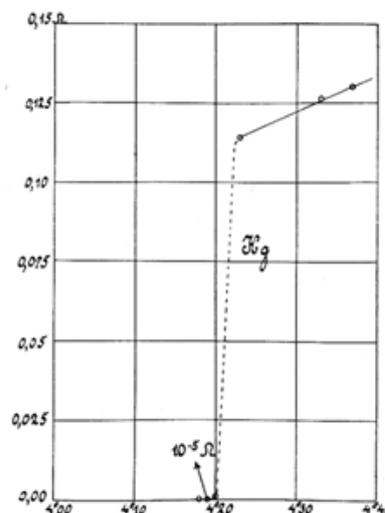


Figura 2: Gráfico histórico da resistência x temperatura feito por H. K. Onnes em seu experimento com o mercúrio no ano de 1911, demonstrando a queda brusca da resistência em 4,2 K.

Os dados coletados neste segundo experimento, ocorrido em 26 de outubro de 1911 pela equipe de H. K. Onnes em seu laboratório revelaram uma grande surpresa. Resfriando até temperaturas ligeiramente abaixo de 4,3 K a resistência elétrica apresentava valores importantes, mas ao baixar para 4,2 K o valor dessa resistência despencou para valores tão ínfimos que praticamente desapareceu! Ou seja, a resistência nula que Kamerlingh esperava ocorrer somente no zero absoluto subitamente ocorreu à temperatura de 4,2 kelvins de forma totalmente inesperada, como revela o gráfico da figura 2, com a grafia do próprio Onnes.

Muito intrigado com o fenômeno, Onnes desconfiou de sua experiência, mas publicou seu resultado na semana seguinte. A análise de seus dados revelam que o mercúrio, ao atingir a temperatura de 4,2 K assume uma nova condição física, na qual sua resistividade (e resistência

elétrica) praticamente não existe e, portanto, uma corrente elétrica que o atravessa não dissipa energia, como ocorre em qualquer condutor em altas temperaturas. A essa nova condição do mercúrio, Kamerlingh denominou supracondutividade que, depois passou a se chamar de *supercondutividade*. E a temperatura abaixo da qual o mercúrio torna-se supercondutor passou a ser identificada por temperatura crítica,  $T_c$ .

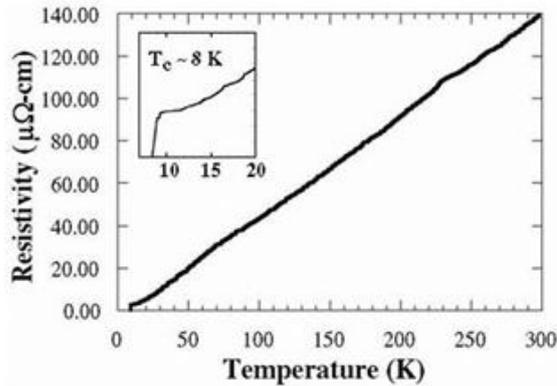


Figura 3: Resistividade do chumbo cai bruscamente a zero à temperatura de 7,2 Kelvin, revelando seu caráter supercondutor.  
Fonte: [www.bpc.edu/mathscience/faculty/jones/chapter\\_1\\_01.html](http://www.bpc.edu/mathscience/faculty/jones/chapter_1_01.html).

Outros cientistas, em outros laboratórios, logo repetiram o experimento de H. K. Onnes e chegaram aos mesmos resultados que ele. Poucos meses depois, no ano de 1912, foi descoberto que com fios de estanho e com fios de chumbo ocorre o mesmo comportamento. Em dezembro do mesmo ano, observou-se que mesmo com mercúrio não puro tal comportamento se repetia, porém a partir de outra temperatura crítica, mostrando que o experimento de Kamerlingh não estava falho e que o observado tratava-se de um fenômeno novo, desconhecido até então.

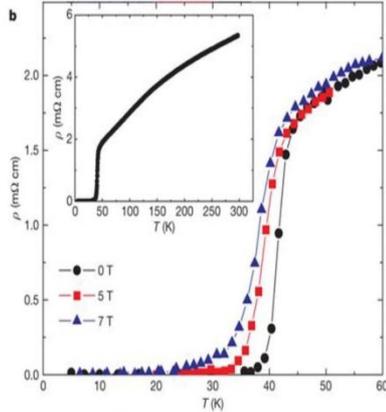
O fenômeno da supercondutividade imediatamente começou a ganhar importância científica cada vez maior. E

sua “descoberta” não teria sido possível sem o desenvolvimento de técnicas para obtenção de temperaturas extremamente baixas, muito próximas do zero kelvin (zero absoluto) protagonizado por H. K. Onnes. E, por este feito, o holandês foi o merecedor do Prêmio Nobel em Física no ano de 1913.

## APÊNDICE E: Gráficos trabalhados na aula 6

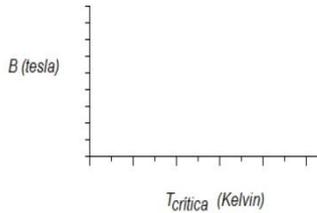
### Vulnerabilidades do Estado Supercondutor

Repare com atenção no gráfico abaixo.



As três curvas representam medidas para um mesmo material.

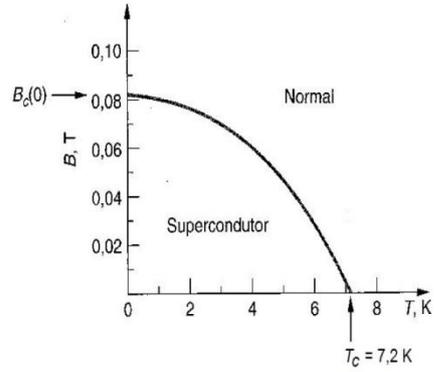
- Que grandezas físicas estão relacionadas nesse gráfico?
- Esse material apresenta supercondutividade? Desenvolva.
- Identifique, ainda que aproximadamente, a temperatura abaixo da qual a resistividade passa a ser desprezível em cada curva (conjunto de medidas).
- A legenda permite identificar sob que condição cada conjunto de medidas foi realizada. Identifique essas condições e descreva que implicação elas tiveram para a temperatura crítica do material. **Obs.:** esse comportamento é comum a todos os materiais que apresentam supercondutividade.
- Esboce um gráfico  $B \times T_c$  para esse material com os três valores estimados acima.



Ficha 1



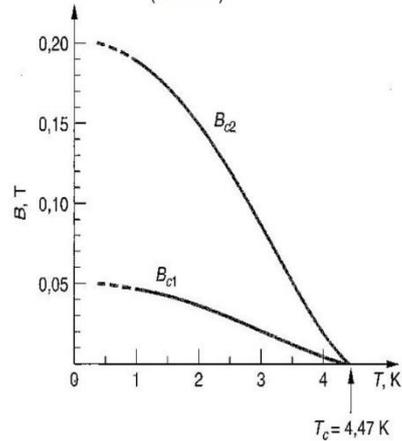
(Chumbo)



Ficha 2



(Tântalo)



Ficha 3

## APÊNDICE F: Trabalho Avaliativo – Aula 6

Colégio Estadual São Luiz Gonzaga - Veranópolis, RS

### Trabalho Avaliativo de Física

Nomes:

Turma:

Data:

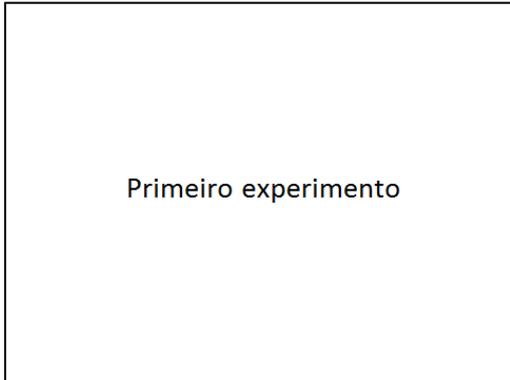
Responda as questões a partir da análise das curvas características do chumbo e do tântalo, para avaliação.

- Quais são as grandezas físicas envolvidas nos gráficos? Em que unidade cada uma está expressa?
- O que significa o símbolo " $T_c$ " que aparece nos dois gráficos? E que informação importante seu valor representa para o material?
- Em que estado apresenta-se o chumbo nas condições destacadas abaixo? (Marque esses pontos no gráfico).  
P1 (2 K, 0,09 T) →  
P2 (2 K, 0,03 T) →  
P3 (7 K, 0,03 T) →
- É possível, estando a 7 kelvins, o chumbo tornar-se supercondutor? Se sim, do que isso depende?
- É possível, ainda que resfriado a quase zero absoluto, o chumbo nunca apresentar supercondutividade? Se sim, do que isso depende?
- O que significa o símbolo " $B_c$ " que aparece no gráfico do chumbo? E que informação importante seu valor representa para o material?
- Qual é o valor de  $B_c$  para o tântalo?
- Deseja-se que o tântalo supercondutor, ao ser aquecido, transforme-se em condutor comum à temperatura de 4 K. De acordo com o gráfico, o que deve ser feito para que isso ocorra?
- O que é o efeito Meissner? Quando ele ocorre?
- Considere o tântalo à temperatura de 2 K, submetido a um campo magnético de 0,150 tesla. A partir dessa condição, o que ocorre com a supercondutividade desse material se uma das seguintes alterações ocorrer?
  - Sua temperatura aumentar meio kelvin;
  - A intensidade do campo aplicado aumenta para 0,160 T;
  - A intensidade do campo magnético for diminuída para 0,020 T.
- A imagem abaixo mostra linhas de indução atravessando parcialmente um material supercondutor.
 
 Isso representa um efeito Meissner total ou parcial?
- Para o chumbo, ocorre o efeito total ou parcial? E para o tântalo?
- A levitação magnética supercondutora é possível quando as condições permitem o efeito Meissner. Em cada gráfico abaixo pinte com cores diferentes as regiões dele que representam as condições para o efeito ocorrer parcialmente e totalmente.
 

Gráfico 1

Gráfico 2

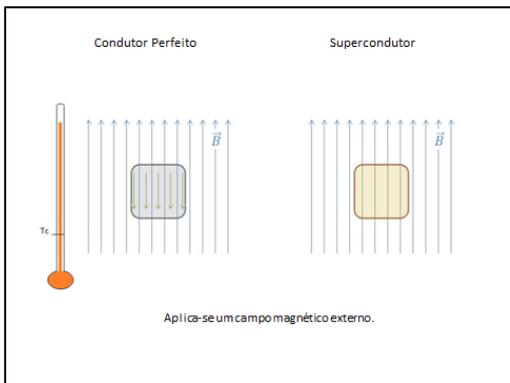
**APÊNDICE G: Apresentação Aula 5 – Condutor perfeito x Supercondutor**



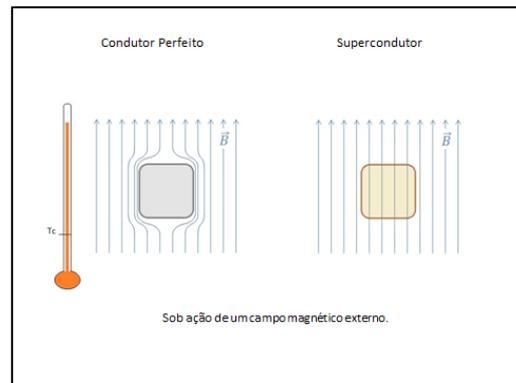
Slide 1



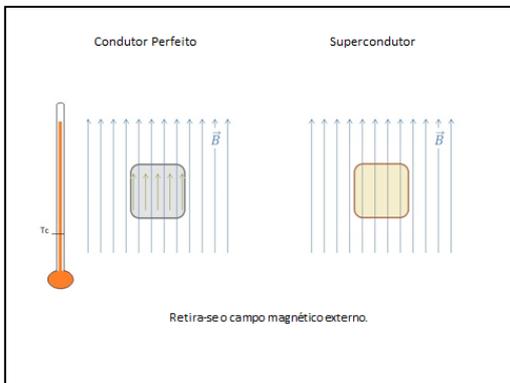
Slide 2



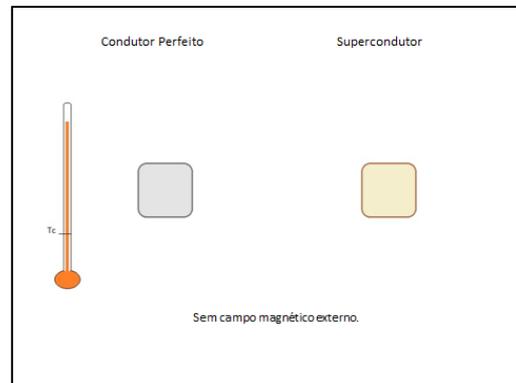
Slide 3



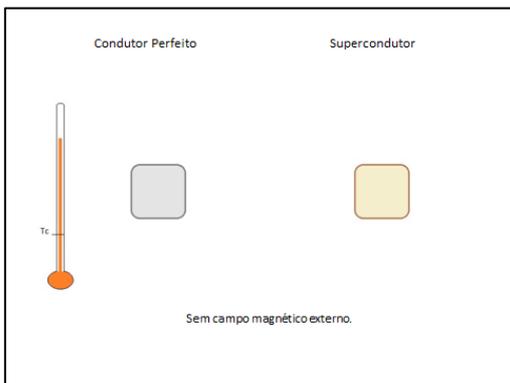
Slide 4



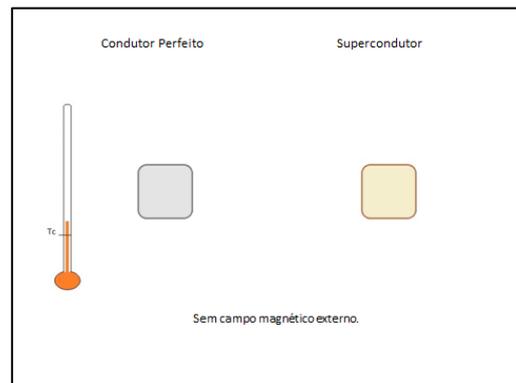
Slide 5



Slide 6



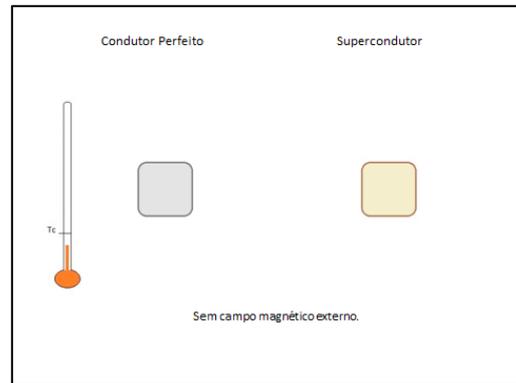
Slide 7



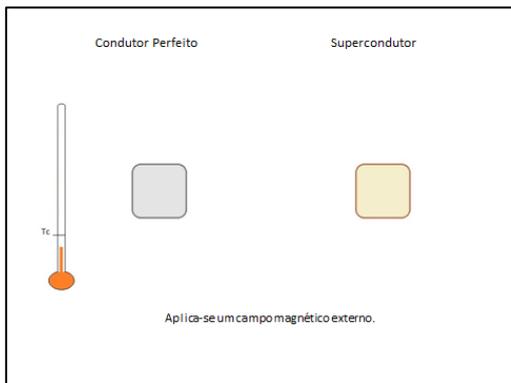
Slide 8



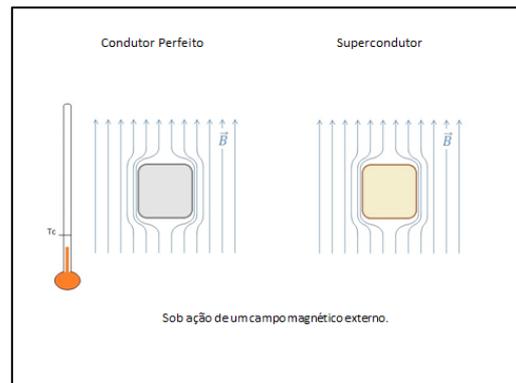
Slide 9



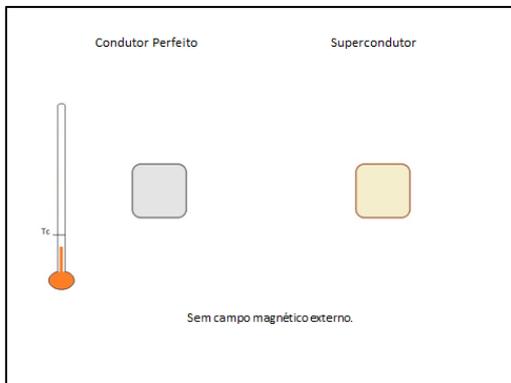
Slide 10



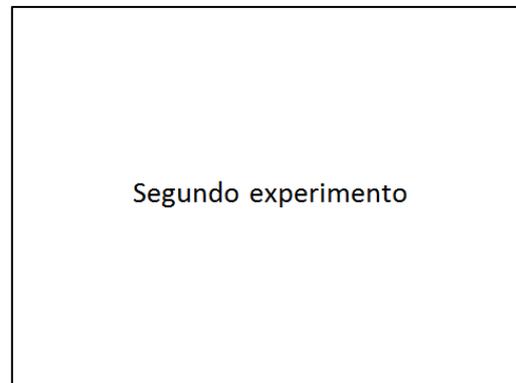
Slide 11



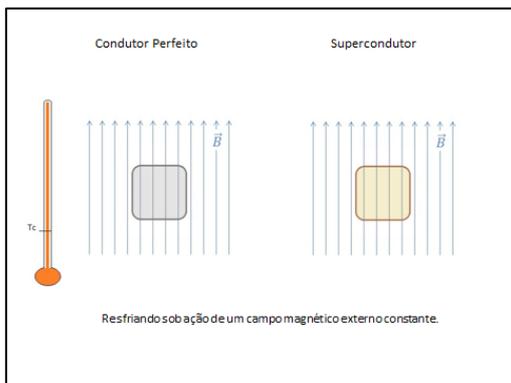
Slide 12



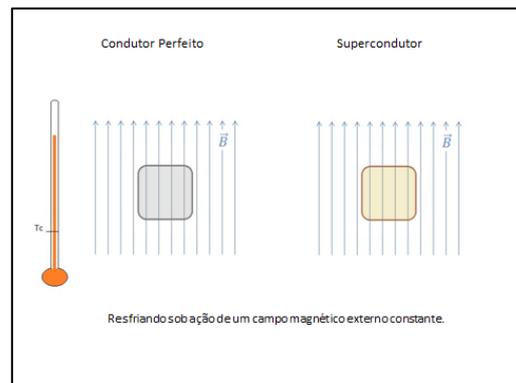
Slide 13



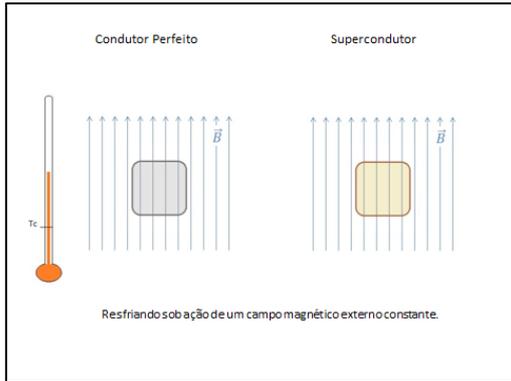
Slide 14



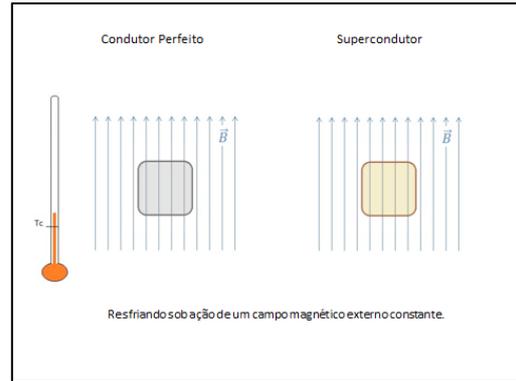
Slide 15



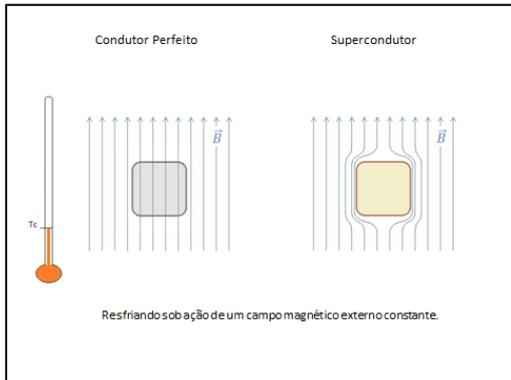
Slide 16



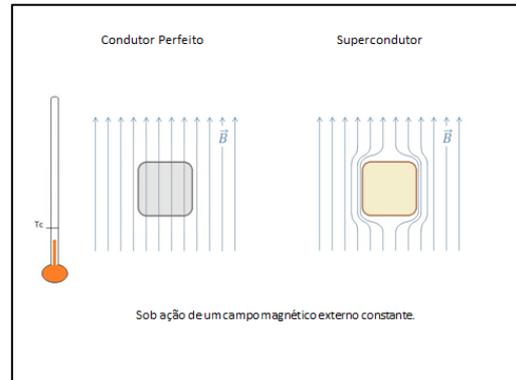
Slide 17



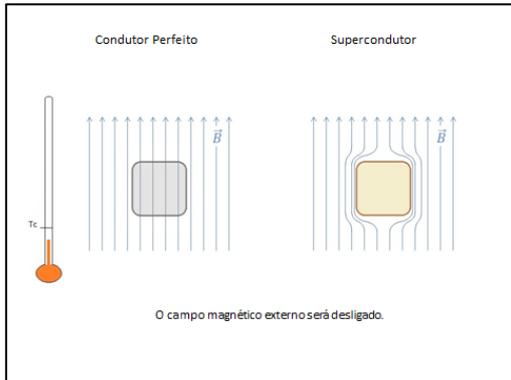
Slide 18



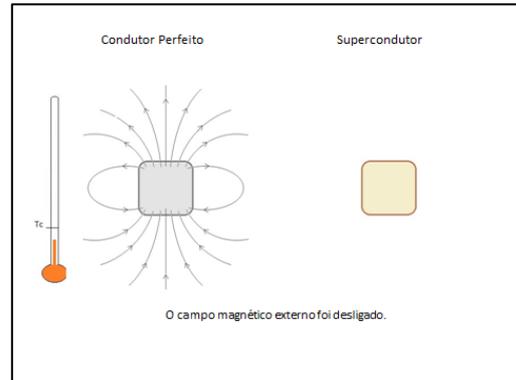
Slide 19



Slide 20



Slide 21



Slide 22

E então,  
supercondutor comporta-se como um  
condutor perfeito?

Slide 23

## APÊNDICE H: Texto de apoio – Aula 7

### Supercondutividade: uma visão microscópica

Desde a “descoberta” da supercondutividade até os dias atuais, um dos grandes desafios para os cientistas é compreender os mecanismos que a geram. Os conhecimentos eletrodinâmicos disponíveis na época não eram suficientes e, em certos aspectos, mostravam-se incompatíveis com as ideias que surgiam. Muitas décadas se passaram e ao longo delas o conhecimento científico evoluiu apoiado em princípios de uma nova mecânica, a Mecânica Quântica, ramo da Física que investiga o universo subatômico.

Segundo a descrição eletromagnética clássica, os elétrons são portadores de carga elétrica negativa e interagem uns com os outros manifestando repulsão mútua. Em metais (que são bons condutores), onde há elétrons “livres” que podem compor correntes elétricas, estes se movem aleatoriamente por entre os íons da rede cristalina desviando-se uns dos outros. Nesta movimentação, a agitação térmica da rede, suas impurezas e demais irregularidades impõem resistência, gerando perdas de energia por efeito Joule e etc. Porém o que era percebido no estado supercondutor é que os elétrons, subitamente, parecem comportar-se de outras formas, de modo tal que seus movimentos não mais são afetados pela rede cristalina e nem por outros elétrons. A resistividade elétrica do material torna-se rigorosamente nula.

A partir do ano 1950 começaram a surgir as primeiras pistas de como a supercondutividade pode se dar. À luz da mecânica quântica, John Bardeen, Leon Niel Cooper e John Robert Schrieffer, individualmente desenvolveram seus estudos acerca do tema. A contribuição dos três gerou uma teoria que prometia trazer a explicação para a supercondutividade em metais e que, posteriormente passou a ser identificada como a *teoria BCS*.

Segundo a teoria de Bardeen, Cooper e Schrieffer, elétrons em movimento numa rede cristalina interagem com seus íons provocando ondulações na mesma, conhecidas como *fônons* (figura 1). Quando a vibração térmica é suficientemente pequena, os fônons tornam-se evidentes e são “percebidos” por outros elétrons, o que altera seus comportamentos. Por intermédio desses fônons, dois elétrons podem acabar interagindo atrativamente entre si e formar pares (figura 2). Então, no

interior da rede cristalina, sob temperaturas extremamente baixas, parte do conjunto de elétrons livres (elétrons de condução) transforma-se num conjunto de pares, os *pares de Cooper* (por ter sido Leon Cooper trazer essa informação ao grupo, embora, na história da Ciência, não tenha sido ele o

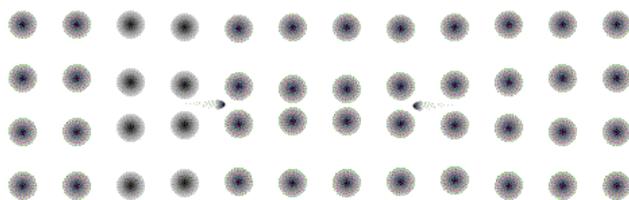


Figura 1 – Dois elétrons que se mantêm unidos pela “atração” mútua, devido à concentração de cargas positivas entre eles.

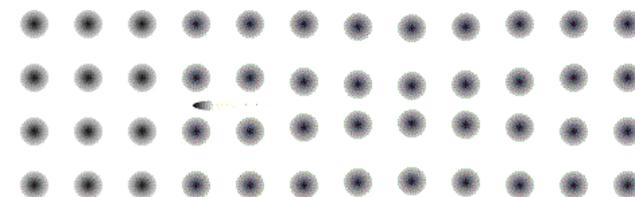


Figura 2 - Ao passar pela rede cristalina, a carga negativa do elétron atrai as cargas positivas dos íons. Eles se deslocam ligeiramente formando uma região de cargas positivas concentradas. Essa ondulação é o fônon e se movimenta perseguindo o elétron.

primeiro a defender essa ideia). Cada um desses pares assume uma identidade com propriedades distintas daquelas de um elétron “solitário”.

Uma vez formado, o par de Cooper torna-se um sistema estável. Os pares de Cooper, diferentemente de elétrons individuais, apresentam um comportamento coletivo de união, como

se o grupo fosse uma entidade única (figura 3). Quando um par se desloca, todos os outros deslocam-se juntos. Desse modo não são facilmente abaláveis pelas imperfeições da rede cristalina e

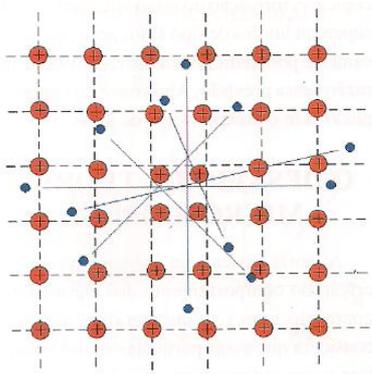
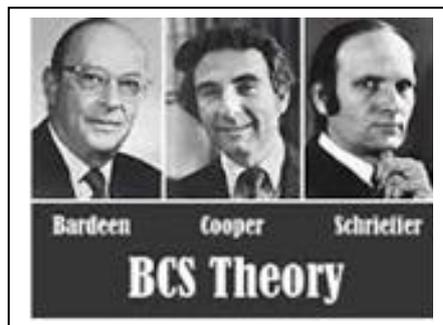


Figura 3 - Vários pares de Cooper "convivem" no mesmo espaço formando um grupo coeso.  
Revista USP, nº 92, p. 148.

pelas vibrações térmicas de seus íons (desde que a temperatura seja igual ou inferior à temperatura crítica). Por este motivo as correntes elétricas podem fluir pelo supercondutor sem enfrentar resistências.

A teoria BCS, desenvolvida em 1957, é bastante complexa em seus detalhes. Mas tem conseguido descrever satisfatoriamente bem o fenômeno da supercondutividade em metais. A teoria prevê o Efeito Meissner, a interferência de campos magnéticos externos sobre o estado supercondutor e outras particularidades desse fenômeno. O sucesso da



teoria foi tão grande que o prêmio Nobel de Física de 1972 foi concedido aos seus três autores. Até hoje não surgiu uma teoria melhor. Porém, possui limitações. Embora ela possa conceitualmente descrever a supercondutividade do tipo II, típica dos novos materiais cerâmicos, das ligas metálicas e outros materiais supercondutores modernos, sua aplicação torna-se muito complexa nesse caso. Assim, para descrever o comportamento dos supercondutores do tipo II usa-se outra abordagem teórica, a qual, no entanto, é fundamentada microscopicamente na teoria BCS. Nos materiais do tipo II há uma fase supercondutora intermediária em que o campo magnético penetra parcialmente no material, produzindo a estrutura de vórtices. A teoria BCS também não é inteiramente satisfatória para explicar a ocorrência da supercondutividade em temperaturas elevadas (entre 90 K e 150 K), como ocorre nos supercondutores do tipo óxidos de cobre, cujo exemplo mais conhecido é o YBaCuO. .

As pesquisas científicas avançaram muito ao longo do século XX. Os conhecimentos da Física acerca dos supercondutores cresceu grandemente com a teoria BCS. Mas ainda há muito a ser pesquisado. Entender como a supercondutividade ocorre é essencial para a identificação de novas propriedades desse estado da matéria, novos materiais com essa característica e o domínio do fenômeno para aplicações tecnológicas úteis.



## APÊNDICE J: Gabarito da Prova Final – Aula 10

Colégio Estadual São Luiz Gonzaga - Veranópolis, RS

Prof. Flavio

**Prova de Física**  
- Supercondutividade -

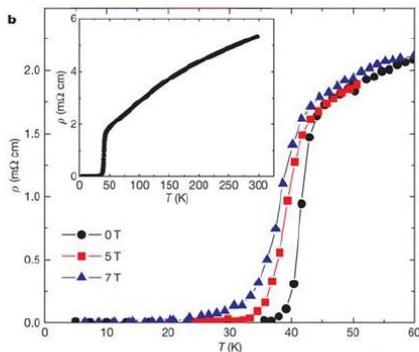
Nome: \_\_\_\_\_ N°: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

- 1) Cite três fatores que contribuem para a resistividade de um material.
  - formato da rede cristalina;
  - impurezas nessa rede;
  - quantidade de elétrons livres no material;
  - agitação térmica da rede.
- 2) Defina o que é supercondutividade.
 

É o desaparecimento total ou quase total da resistividade de um material, o que o torna um condutor de eletricidade praticamente sem resistência elétrica. Isso ocorre quando o material é resfriado a temperaturas muito baixas.
- 3) Além de trens de levitação, que outras aplicações pode-se dar à supercondutividade? (Cite uma, pelo menos)
- 4) Cite uma característica que faz da supercondutividade um fenômeno especial.
 

Nesse estado, a corrente elétrica não dissipa calor por efeito joule e flui sem resistência elétrica.

- 5) Repare com atenção no gráfico abaixo. As três curvas representam medidas para um mesmo material.



- a) Esse material apresenta supercondutividade? (O que evidencia isso?)
 

Sim, apresenta supercondutividade. Nota-se pelo gráfico que a resistividade cai a zero em temperaturas acima do zero absoluto.

- b) A legenda permite identificar sob que condição cada conjunto de medidas foi realizada. Identifique essas condições e descreva que implicação elas tiveram para a temperatura crítica do material.
 

As medidas foram tomadas com a amostra submetida a campo magnético de diferentes intensidades. Nota-se que quanto mais intenso o campo aplicado, menor fica a temperatura crítica do material.

- 6) Um dos grandes desafios da ciência moderna é conseguir descrever e explicar com bom grau de detalhes como ocorre a supercondutividade. Atualmente, a teoria que mais se destaca só é eficiente para os casos de baixa temperatura crítica.

- a) Qual é o nome dessa teoria?
 

Teoria BCS.

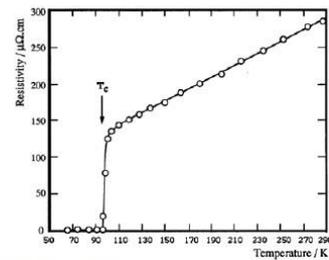
- b) Qual é a ideia central dessa teoria para o estado supercondutor?
 

É a formação de pares de elétrons (pares de Cooper) que passam a se mover em grupo coeso pelo material, não sofrendo perturbações da rede cristalina.

- 7) Risque completamente a palavra ou expressão entre parênteses que torna falsa cada frase do texto abaixo, de modo que, no final, o texto todo fique correto.
 

Todo material supercondutor assume essa condição em temperaturas (acima / abaixo) de um certo valor limite, característico de cada um. Atualmente há (apenas / mais de) um tipo de supercondutor. O material supercondutor (comporta-se como / difere de) um condutor perfeito. Uma (semelhança / diferença) entre eles é que (no primeiro / nos dois / no segundo) ocorre o efeito Meissner. Este efeito é responsável pela levitação magnética de um ímã sobre um supercondutor ou vice-versa. O curioso é que campos magnéticos intensos agindo sobre um supercondutor (podem / não podem) enfraquecer, ou mesmo destruir a supercondutividade, ainda que em temperaturas próximas do zero absoluto.

- 8) O gráfico abaixo é associado à substância YBCO ou YBaCuO.



Assinale verdadeiro ou falso.

- (F) YBCO é um metal supercondutor de baixa temperatura crítica.
  - (F) YBCO é uma cerâmica supercondutora com  $T_c \approx 35$  K.
  - (F) YBaCuO é importante pois é supercondutora em temperatura ambiente.
  - (V) YBCO foi a primeira cerâmica supercondutora descoberta com  $T_c$  acima da temperatura do nitrogênio líquido.
  - (V) A descoberta dessa cerâmica representou um grande avanço na área da supercondutividade.
  - (F) De acordo com o gráfico, essa cerâmica perde sua supercondutividade acima de  $\sim 94$  °C.
  - (V) A supercondutividade não ocorre apenas com materiais bons condutores elétricos, mas também com materiais normalmente isolantes.
- 9) Numa de nossas aulas pudemos ver um vídeo onde um supercondutor flutuava sobre um caminho magnético circular (trilha de ímãs) e se movia sobre essa trilha sem nenhum contato com nada.



Explica como entendes que esse fenômeno aconteceu. O que faz a peça andar em círculo sobre a trilha ao invés de andar reto, por exemplo? Como explicas que a peça não se gruda nos ímãs ou não é jogada para longe, mas permanece flutuando, movendo-se presa ao seu caminho? (Atrás desta folha)

Produto Educacional

*PROPOSTA DIDÁTICA PARA DESENVOLVER O  
TEMA SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO MÉDIO*

*Flavio Festa  
Neusa Teresinha Massoni  
Paulo Pureur Neto  
2015*

## Sumário

<b>Apresentação</b> .....	3
<b>A Teoria dos Campos Conceituais</b> .....	4
<b>Planejamento</b> .....	5
Aula 1 – Motivação ao Estudo da Supercondutividade.....	8
Aula 2 – Resistividade Elétrica.....	12
Aula 3 – Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica.....	16
Aula 4 – Indução Eletromagnética e Diamagnetismo .....	22
Aula 5 – Efeito Meissner.....	25
Aula 6 – Campo Magnético Crítico .....	30
Aula 7 – Interpretação Microscópica da Supercondutividade – Pares de Cooper.....	34
Aula 8 – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – Parte 1 .....	37
Aula 9 – Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – Parte 2 .....	40
Aula 10 – Prova.....	43
<b>Referências</b> .....	45

## Apresentação

Caro professor!

Este material consiste em um planejamento de dez aulas de cinquenta minutos para trabalhar o tema “Supercondutividade” com turmas do terceiro ano do Ensino Médio que podem ser inseridas no cronograma dos conteúdos da disciplina de Física após o estudo dos conceitos fundamentais de Eletrodinâmica e de Magnetismo. Consiste em uma abordagem introdutória sobre o assunto.

Iniciando-se com uma aula motivacional para esse estudo, desenvolve-se o tema passando pela definição e caracterização do fenômeno; aborda-se a história de sua “descoberta” e os avanços de sua exploração científica até os dias de hoje, chegando às aplicações tecnológicas atuais e perspectivas para o futuro. As aulas foram pensadas para serem executadas dentro de uma visão epistemológica alinhada às concepções contemporâneas sobre a natureza da ciência e em uma abordagem conceitual adequada à Teoria dos Campos Conceituais desenvolvida pelo psicólogo, filósofo e matemático francês Gérard Vergnaud (1933). Assim, os planos de aula contêm um conjunto de situações<sup>53</sup> potencialmente favoráveis ao desenvolvimento dos conceitos e dos campos conceituais.

Parte do material utilizado nas aulas foi produzido especificamente para este módulo (de autoria do autor deste trabalho) como textos, animações, *WebQuest* e apresentações em slides, e parte consiste em material disponível na internet, como vídeos e outros recursos para enriquecer o estudo. Espera-se, com isto, motivar professores a abordar a Supercondutividade no Ensino Médio, mostrando que conhecimentos da Física Moderna e Contemporânea são acessíveis, instigantes e podem contribuir para produzir um impulso positivo nos alunos para o estudo das ciências<sup>54</sup>. Também se trata de um conhecimento relevante para inserir na bagagem cultural dos estudantes, cidadãos em formação, que tanto gostam da tecnologia, esta que nos surpreende cada dia mais ao empregar conhecimentos científicos atuais para nos dar conforto, praticidade, facilidades e sonhos de poder chegar mais longe do que o presente permite.

Ao apropriar-se deste material, novas ideias poderão surgir para enriquecer as aulas, outros materiais poderão ser encontrados na *web* ou elaborados para aprimorar, complementar e enriquecer o trabalho. Não se trata de um produto formatado para ser seguido rigidamente, embora sirva para isso se o professor não dispuser de tempo para novos planejamentos. Espera-se que o professor consiga, ao longo de sua prática, criar novas situações que desafiem seus alunos a pensar e buscar soluções/explicações mais desenvolvidas e elaboradas para os fenômenos que analisam.

---

<sup>53</sup> As situações, no sentido dado por Vergnaud, são entendidas como sendo os problemas a que a pessoa se depara para resolver.

<sup>54</sup> Destaca-se que este módulo foi aplicado em uma escola pública, em horário regular, a três turmas de terceiro ano, concomitantemente, e foi bem aceito pelos estudantes.

## Referencial Teórico: A Teoria dos Campos Conceituais

Proposta pelo psicólogo, filósofo e matemático francês Gérard Vergnaud, a Teoria dos Campos Conceituais toma como premissa que “o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio por parte do aprendiz vai acontecendo ao longo de um extenso período de tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem.” (MOREIRA, 2002).

Campo conceitual é definido por Vergnaud como “conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante um processo de aquisição.” (*ibid.*, p. 8).

Para o autor desta teoria, conceito é um triplete formado por: 1) *conjunto de situações (S)*, responsáveis por dar sentido ao conceito. 2) *Os invariantes operatórios (I)*, que representam o significado do conceito e permitem reconhecê-lo em diferentes contextos. 3) *Representações simbólicas (R)*, que são as diferentes representações que se pode fazer do conceito.

O processo de construção do conceito é chamado por Vergnaud de “conceitualização”, e constitui o núcleo do desenvolvimento cognitivo. Esse processo é lento e também direta e fortemente influenciado pela vivência do sujeito que aprende, por suas experiências, sua maturidade etc. Ou seja, a transposição do real, externo ao sujeito, para o pensamento, interno ao sujeito, dá-se à medida que o aprendiz adquire novos conceitos e consegue aplicá-los a novas situações alargando, assim, o campo de possibilidades de aplicação desses conceitos e aprimorando suas operações de pensamento. Nesse processo de conceitualizar, o aprendiz cria relações e representações e atribui significados à medida que é confrontado a situações concretas que está vivendo.

Assim, para conseguir generalizar e enriquecer o significado de um conceito é fundamental que experimente muitas novas situações nas quais ele (o conceito) é relevante para resolvê-las, isto é, situações em que ele pode ser empregado de diferentes maneiras. Somente dessa forma é possível captar a essência do conceito e apropriar-se dele.

A vivência escolar, portanto, deve ser pensada em termos de situações (situações-desafio, novos problemas, novas propriedades etc.) nas quais o sujeito é colocado diante de um problema, teórico ou prático, de solução ainda desconhecida para ele, mas que ele precisa resolver. Por isto é tão importante dar muita atenção aos aspectos conceituais dos esquemas, como propõe Vergnaud. As ações vão acontecendo de acordo com os esquemas formados e reformulados constantemente pelo indivíduo. Esquema é um conjunto de regras e procedimentos que se estabelecem no sujeito, decorrentes de sua relação com as situações e as representações que delas faz. É o que determina o comportamento que o sujeito vai ter quando se vê diante de uma dada classe de situações. Nas palavras de Moreira (2011), esquema é “a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações.”.

Nesse sentido, o presente material foi pensado em termos de “situações” novas para os alunos, mas em consonância com a teoria psicológica do processo de conceitualização do real, de maneira que rupturas e continuidades entre conhecimentos já adquiridos pelos alunos são previstas e precisam

ser monitoradas pelo professor. Desta forma, se a situação se mostrar complexa demais pode ser preciso combinar diferentes tarefas, com distintos níveis de dificuldades. Mas é importante lembrar que, de acordo com a teoria dos campos conceituais, são as tarefas, as situações que dão sentido aos conceitos. No nosso caso, aos conceitos científicos associados à Supercondutividade.

## **Planejamento**

As estratégias didáticas aqui selecionadas e apresentadas, à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, têm como foco as situações para dar sentido aos conceitos científicos. Visam levar o aluno a ingressar no campo conceitual que envolve a Supercondutividade, uma vez que o conhecimento está organizado em campos conceituais que o sujeito acessa, lentamente, a partir das situações que lhe são apresentadas.

Assim, cada aula caracteriza-se por apresentar uma ou mais situações nas quais o professor precisa envolver seus alunos. As situações vão exigir que o aluno interprete dados, manipule esses dados segundo regras predeterminadas ou crie novas regras, identifique e/ou estabeleça relações, represente e avalie os resultados com esforço e intenção de chegar a uma solução para a situação apresentada. Afinal, a aprendizagem acontece quando o sujeito interage com as situações no intuito de resolvê-las, pondo em ação seus esquemas e os conhecimentos (teoremas e conceitos) contidos nos esquemas.

Segundo Moreira, 2011, o professor é um mediador no longo processo de domínio de um campo conceitual, e sua principal tarefa consiste em ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações, oferecendo-lhe, para isso, situações que favoreçam este desenvolvimento.

Porém não é com apenas uma situação ou um conjunto de situações semelhantes que o sujeito logrará um bom desenvolvimento cognitivo. É essencial a vivência de muitas situações, as mais diversas possíveis em torno de um conceito para que o sujeito que aprende possa “enxergar” todas (o maior número possível) as facetas desse conceito particular, e isso é um processo lento, como já foi dito. Para Moreira, 2011, “o domínio de um campo conceitual não ocorre em alguns meses, nem mesmo em alguns anos”.

O próprio Vergnaud apresenta três justificativas para a Teoria dos Campos Conceituais: *1) um conceito não se forma a partir de um só tipo de situação; 2) uma situação não se analisa com um só conceito; 3) a construção e a apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo longo.*

Nesta base, o desenvolvimento cognitivo do sujeito acontece durante a realização de tarefas que lhe exijam comportamento ativo de exploração, experimentação etc. com o objetivo de encontrar uma resposta ou solução. Com isso, também vai fazendo relações entre diferentes conceitos, abrangendo diferentes contextos. Ao fazer isso, estará se desenvolvendo cognitivamente.

Levando esses aspectos em consideração, a organização das aulas está assim definida:

- A Aula 1 intitulada “Motivação ao Estudo da Supercondutividade” é uma introdução e uma motivação ao estudo do tema. Está composta por uma apresentação em slides de nossa própria autoria e três vídeos obtidos na *web*. Prepara o aluno para a formação de esquemas iniciais (primeiras impressões) sobre o conteúdo.
- A Aula 2 intitulada “Resistividade Elétrica”, visa introduzir e trabalhar o conceito de resistividade elétrica como uma característica intrínseca dos materiais, tendo como ponto de partida a resistência elétrica. Está composta por um texto e questões para reflexão e debate. As situações apresentadas nesta aula estão voltadas às atividades de responder a um questionário; resolver os exercícios e participar do debate, com o intuito de proporcionar ao aluno certa conceitualização de resistividade elétrica.
- A Aula 3, intitulada “Supercondutividade como Estado Condutor sem Resistência Elétrica” busca trabalhar a relação da resistividade com a temperatura, conduzindo à ideia de Supercondutividade. O foco está em levar o aluno refletir sobre a corrente elétrica e sua interação com a rede cristalina por onde passa. As atividades estão calcadas na interpretação de gráficos culminando com a leitura de um texto de própria autoria. As situações apresentadas envolvem a interpretação de gráficos e o debate destas interpretações, com o intuito de proporcionar ao aluno uma primeira conceitualização da Supercondutividade, enriquecendo os conhecimentos de seus esquemas ou auxiliando-os a construir novos esquemas.
- A Aula 4, intitulada “Indução Eletromagnética e Diamagnetismo”, a partir de conhecimentos já estudados sobre magnetismo da corrente elétrica e a classificação magnética dos materiais, pretende desenvolver conhecimentos introdutórios sobre a indução eletromagnética em bobinas, ressaltando características diamagnéticas. Ilustrações com experimentos e demonstrações com vídeos obtidos na *web* são utilizadas. As situações estão voltadas ao desenvolvimento de um experimento prático, em que os alunos são solicitados a participar, e análise de vídeos com o intuito de alcançar uma organização dos esquemas como preparação para o assunto seguinte.
- A Aula 5, intitulada “Efeito Meissner”, objetiva proporcionar condições para que o aluno conheça o efeito Meissner; consiga confrontar sua origem com a indução eletromagnética; possa discernir um supercondutor de um hipotético condutor perfeito. Caracteriza-se por situações problematizadoras que permitem desafiar os alunos para que, aos poucos, conceitualizem os fenômenos de Efeito Meissner; supercondutor; condutor perfeito e Supercondutividade. Como recursos são utilizados dois vídeos obtidos na *web* e uma sequência de slides de nossa própria autoria.
- A Aula 6, intitulada “Campo Magnético Crítico”, objetiva estudar a influência que campos magnéticos exercem no estado supercondutor, interferindo no efeito Meissner. Caracteriza-se em submeter os alunos a uma situação-problema, como teorizado por Vergnaud, que os conduzam a perceber que o estado supercondutor é afetado por campos magnéticos externos; que essa influência permite classificar os supercondutores em dois grupos. Como recursos: gráficos e um questionário. É acompanhada também por um questionário avaliativo. As situações apresentadas nesta aula se concretizam na tarefa de interpretação de gráficos e resolução de questionário objetivando proporcionar aos alunos um refinamento em seus esquemas.

- A Aula 7, intitulada “Interpretação Microscópica da Supercondutividade: Pares de Cooper” é uma introdução ao conceito de Pares de Cooper. Objetiva conhecer a explicação científica mais aceita sobre o fenômeno Supercondutividade: a Teoria BCS. Caracteriza-se em proporcionar situações que possibilitem aos alunos: refletir sobre a dinâmica eletrônica que estabelece o estado supercondutor; reorganizar seus esquemas individuais para considerar a formação dos pares de Cooper e avançar na conceitualização da Supercondutividade. Dispõe como recursos de três vídeo-animações e um texto, todos de própria autoria. As situações proporcionadas nesta aula referem-se à análise e discussão coletiva das representações apresentadas nas animações.
- A Aula 8, intitulada “Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – Parte 1”, pretende levar aos alunos os conhecimentos das atuais investigações sobre a supercondutividade, as dificuldades tecnológicas para a aplicabilidade do fenômeno, e projetos de utilização dos supercondutores. Caracteriza-se em disponibilizar uma pesquisa dirigida através da ferramenta *WebQuest*, para levar o aluno a construir: (1) sua autonomia na busca do conhecimento e das informações; (2) interagir com outras informações não tratadas em sala de aula; (3) conhecer mais possibilidades e potencialidades de uso deste fenômeno (Supercondutividade); (4) perceber que o conhecimento científico é uma construção humana. Recurso: *WebQuest* de própria autoria e organização. As situações oferecidas nesta aula estão voltadas à interação com a *WebQuest* na busca de novas informações sobre o tema, explorando com maior abrangência o campo conceitual associado à Supercondutividade.
- A Aula 9, intitulada “Aplicações da Supercondutividade e Desafios da Atualidade – Parte 2” pretende acionar as informações absorvidas e/ou acessadas através das leituras da Aula 8. Caracteriza-se em dar continuidade à atividade *WebQuest*, respondendo a um questionário, de própria autoria, constante no plano de aula e disponibilizado de forma *on-line*<sup>55</sup>, acessado da própria *WebQuest*, envolvendo questões pertinentes ao estudo do material nela disponível. Recurso: *WebQuest* de própria autoria e organização. Da mesma forma da aula anterior, nesta as situações oferecidas estão voltadas à interação com a *WebQuest* na busca de novas informações sobre o tema em estudo, e responder a um questionário.
- A Aula 10 consiste em uma avaliação do tipo “prova escrita” que, em princípio, o aluno deverá responder individualmente e sem consulta a colegas, ao professor e a qualquer material. O professor pode facilmente adaptá-la as suas intenções e objetivos se o desejar.

A seguir, são apresentados os Planos de Aula para cada uma das dez aulas, os textos e gráficos utilizados, prontos para a impressão e utilização. Os vídeos obtidos na *web* estão identificados nos planos de aula com o respectivo título e endereço eletrônico para acessá-los. As animações utilizadas na Aula 7 estão disponibilizadas no Youtube. Todos os momentos são aqui apresentados como sugestões, foram utilizados na implementação do módulo de Supercondutividade em uma escola pública e mostraram-se adequados, mas é possível fazer adaptações.

---

<sup>55</sup> Questionário disponibilizado através do recurso “Formulários Google” na ferramenta “Google Drive”.

## AULA 1 – MOTIVAÇÃO AO ESTUDO DA SUPERCONDUTIVIDADE

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ☞ Identificar o fenômeno da Supercondutividade como ingrediente importante na evolução tecnológica no presente e no futuro.
- ☞ Relacionar conceitos novos a conhecimentos já desenvolvidos.
- ☞ Incitar motivação ao estudo do fenômeno da Supercondutividade.

### CONTEÚDO:

Definição de Supercondutividade e algumas aplicações: maglev, cabos supercondutores, eletroímã de aparelhos de ressonância magnética, sensores magnéticos, mancais magnéticos e baterias mecânicas *flywheel*.

### PRÉ-REQUISITOS:

Noções elementares de eletricidade e magnetismo: corrente elétrica, condução elétrica, resistência elétrica, efeito Joule, ímãs, eletroímãs, interação magnética entre polos magnéticos.

### RECURSOS:

- ✓ arquivo de apresentação em slides, disponível em:  
<<[https://dl.dropboxusercontent.com/u/37872523/Supercondutividade\\_arq%20ppt/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20aula1%20-%20links%20externos%20para%20os%20v%C3%ADdeos.pptx](https://dl.dropboxusercontent.com/u/37872523/Supercondutividade_arq%20ppt/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20aula1%20-%20links%20externos%20para%20os%20v%C3%ADdeos.pptx)>>;
- ✓ projetor multimídia;
- ✓ computador de mesa ou portátil;
- ✓ conexão com internet com habilitação para acesso ao *site* Youtube.

Na impossibilidade de conexão com a internet, baixar previamente a apresentação e os seguintes arquivos:

- vídeo “*Shanghai Transrapid Maglev SMT*”, disponível em << <https://www.youtube.com/v/XGR-md9328Q> >> Acessado em 13/10/2014.
- vídeo “*Los motores del futuro*”, disponível em << <https://www.youtube.com/v/3zllrRKlvrY> >>. Acessado em 10/10/2014.
- vídeo “*Energy of a flywheel*”, disponível em <<<https://www.youtube.com/v/UudALNKY-Jw>>>. Acessado em 20/10/2014.

### AVALIAÇÃO:

Será considerado o comportamento e envolvimento do aluno nas discussões lançadas ao longo da aula.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

## MOMENTO 1

Tempo  
previsto  
5 min.

Organizar a turma na sala de aula ou em sala específica para que os alunos possam assistir à apresentação de slides possibilitando que tomem nota em seus cadernos daquilo que considerarem interessante. Avisar que se trata de uma aula motivacional em que serão apresentadas superficialmente algumas informações sobre a supercondutividade e esclarecer que nas aulas seguintes os tópicos apresentados serão retomados, podendo ser aprofundados.

## MOMENTO 2

Tempo  
previsto  
45 min.

Executar a sequência de slides buscando envolver os alunos com questionamentos que os façam refletir sobre o que está sendo mostrado no slide. Incentivar os alunos a falarem o que sabem sobre as imagens do slide 2. Então, como uma síntese do que eles apontam, ir revelando os slides 3 e 4 e finalmente, chamar a atenção com o slide 5 salientando a ausência de contato mecânico do trem com os trilhos. Discutir com a classe as vantagens que esse tipo de trem apresenta sobre os trens convencionais, estimulando os alunos a identificar por si mesmos. Em seguida, apresentar o slide 6 como resumo da discussão, revendo item a item. Então, convidar os alunos a embarcarem em uma “excitante viagem” imaginária com o trem chinês por levitação magnética, *Shanghai Transrapid*. Convidá-los a se acomodarem nas cadeiras como se estivessem no trem e relatar que a sensação em seu interior é muito parecida ao de estar na sala, pois não há solavancos e desconfortos, exceto nos momentos de aceleração da composição. Iniciar o vídeo clicando no vínculo ativo que consta no slide 7 (ou executar o arquivo do vídeo, se fora previamente baixado) e pedir para que os alunos observem as pessoas dentro do vagão, a paisagem ao longe e, principalmente, acompanhem o painel digital localizado sobre a porta do vagão, que reproduz o velocímetro do trem. Observar o envolvimento dos alunos nessa atividade e estimulá-los a sentir a emoção do experimento. Incentivar os alunos a calcular, sem compromisso e como atividade extraclasse, a aceleração do trem, a esboçar o gráfico da velocidade em função do tempo. E escrever no quadro o endereço eletrônico do vídeo para quem se interessar e quiser rever.

Após esse momento lúdico da aula, retomar a apresentação de slides dedicando especial empenho na exposição das aplicações constantes nos slides 13, 14 e 15 (este contém vínculos ativos para os outros dois vídeos, sendo que “*Energy of a flywheel*” é opcional, apenas pra ilustrar o uso de um *flywheel*, e não relaciona com a supercondutividade, cabendo ao professor fazer essa relação) onde o aluno poderá fazer mais perguntas. Sugere-se que o professor exponha em linhas gerais cada aplicação e aprofunde conforme aparecerem perguntas dos alunos, se surgirem. Então encerrar a aula convidando a todos para se envolver e mergulhar no estudo da Supercondutividade.

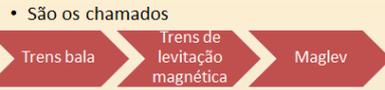
# A Supercondutividade

Slide 1

Você conhece estas figuras?



Slide 2



Slide 3



Slide 4



Slide 5

Mas quais as vantagens deste meio de transporte?

- Transporte de alta velocidade – mais de 400 km/h.
- Estável, seguro e bastante confortável.
- Pode chegar ao destino antes do que um avião.
- Não utiliza combustível e não polui a atmosfera.
- Requer menos energia elétrica para se movimentar do que trens elétricos convencionais.
- São silenciosos.
- Não tem atrito com trilhos, diminuindo desgastes.

Slide 6



Slide 7

## E o que está por trás de toda esta tecnologia?



Slide 8

Princípios da física moderna.



Mas neste processo, o principal fenômeno que se destaca é o da SUPERCONDUTIVIDADE.

Slide 9

• O que é supercondutividade?

É a possibilidade que alguns materiais têm de perder sua resistência elétrica quando submetidos a temperaturas extremamente baixas.

Slide 10

- Será que este fenômeno da supercondutividade é usado apenas para a construção de trens?



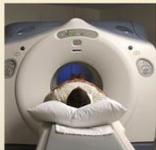
Slide 11

- Descoberta no início do século passado, a supercondutividade tem se tornado um fenômeno intrigante e muito interessante.
- Levou a vários desdobramentos práticos importantes e traz a promessa de grandes revoluções tecnológicas para a sociedade futura.

Slide 12

- Outras aplicações da supercondutividade

Ressonância Magnética



Direcionadores magnéticos no LHC



Slide 13

- Outras aplicações da supercondutividade

Supertransmissores de potência elétrica



Slide 14

Algumas possibilidades com a supercondutividade

Eletrônica...

Sensores Magnéticos...

Motores...

Baterias Mecânicas...

E muito mais!

Slide 15

## AULA 2 – RESISTIVIDADE ELÉTRICA

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ☞ Descrever a rede cristalina.
- ☞ Relacionar a um arranjo atômico.
- ☞ Associar resistividade com um conjunto de fatores intrínsecos a cada material que, junto com fatores geométricos, contribui para a ocorrência da resistência elétrica.
- ☞ Listar alguns desses fatores.
- ☞ Demonstrar habilidade para pesquisar identificar, analisar e aplicar informações.

### CONTEÚDO:

Arranjo atômico / rede cristalina / irregularidades da rede / elétrons livres / corrente eletrônica / resistência elétrica / segunda Lei de Ohm / resistividade elétrica.

### PRÉ-REQUISITOS:

Noções elementares de eletrodinâmica: corrente, tensão, resistência elétrica e seus instrumentos de medição.

### RECURSOS:

- ✓ Cópia impressa do texto “Resistividade Elétrica” para cada aluno;
- ✓ Calculadora;
- ✓ Quadro negro e giz ou equivalente.

### AVALIAÇÃO:

Será levado em consideração o envolvimento do aluno nas atividades individuais e sua produção textual nas respostas às questões.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

#### MOMENTO 1

Tempo previsto  
5 min.

Orientar os alunos de que a aula será dividida em momentos e deverão iniciar as atividades propostas individualmente, esforçando-se ao máximo para não chamar o professor. Será feito um debate sob supervisão do professor sobre algumas respostas apresentadas às questões do texto, buscando convergir à resposta esperada. A partir disso, registrar as respostas corretas no caderno para servir de material de apoio para consulta.

#### MOMENTO 2

Tempo previsto  
15 min.

Entregar a cada aluno uma cópia impressa apenas da primeira página do texto “Resistividade Elétrica” enquanto o professor reforça a orientação para ler e estudar os itens 1 e 2 individualmente com o intuito de responder às questões que nele se encontram. Solicitar empenho para que essas respostas sejam escritas em folha solta e para que demonstrem articulação dos conhecimentos já trabalhados ao longo dos anos de escolaridade no Ensino Médio com as ideias contidas no texto. Estipular um prazo (15 min) para, então recolher as respostas para analisá-las posteriormente.

**MOMENTO 3**Tempo previsto  
15 min.

Após todos terem respondido às questões, socializar no grande grupo as respostas de alguns (voluntários ou escolhidos) e debatê-las com a mediação do professor. A partir dessa discussão, caso tenha respondido errado, o aluno deve ser incentivado a reformular suas respostas e registrar no seu caderno.

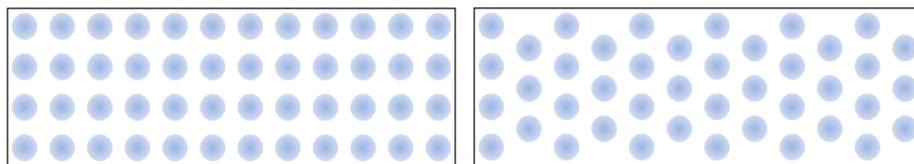
**MOMENTO 4**Tempo previsto  
15 min.

Entregar a cada aluno a segunda página do texto, que aborda a resistividade elétrica, e orientar para que, individualmente, faça a leitura e o seu estudo. Espera-se que, com esta atividade, o aluno enriqueça seu entendimento dos itens anteriores, assimilando melhor de que forma a geometria (formato) e o tipo de material são determinantes para a resistência elétrica e, então integrar isso a um conjunto de características intrínsecas que determinam a resistividade elétrica. Após a leitura, fazer um levantamento das informações que os alunos conseguem destacar da leitura e discutir cada uma no grande grupo. Pode-se fazer um desenho no quadro representando uma rede cristalina, com vários círculos mais ou menos organizados e alguns de tamanhos diferentes e questionar sobre o significado da representação formada e de seus elementos, espaço interatômico, agitação térmica, densidade de elétrons livres, implicações do comprimento e da área da seção transversal, ilustrando esses conceitos com o desenho. Por fim, orientar os alunos a responder as questões finais em casa, incentivando-os a pesquisar as respostas caso não se sintam capazes de formulá-las por si. Informar que deverão entregar suas respostas no início da aula seguinte.

## Resistividade Elétrica

### 1. Um modelo para metais e a condução elétrica

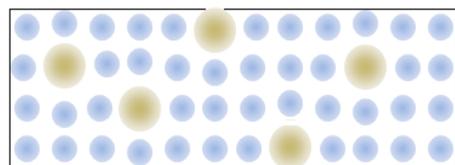
Para o estudo das propriedades eletrodinâmicas dos materiais é importante saber como a matéria está constituída e estruturada. Os cientistas investigam e constroem modelos que lhes servem de apoio para o entendimento dos fenômenos. Para compreender a condução elétrica dos metais, assume-se que os mesmos são formados por átomos que se dispõem no espaço de maneira ordenada formando linhas e colunas, constituindo uma estrutura conhecida como rede cristalina. Assim organizados, os átomos tornam-se íons positivos, pois acabam perdendo seus elétrons de valência que passam a “perambular” quase livres por todo o volume do metal, inclusive junto aos átomos dos quais eles provêm. São esses elétrons que, submetidos ao campo elétrico de uma pilha, por exemplo, geram a corrente elétrica. (Essa descrição é conhecida como *modelo do gás de elétrons*). Cada metal (ferro, alumínio, cobre, ouro, etc.) é formado com uma rede cristalina própria. A título de ilustração, as figuras abaixo representam muito simplificada e em duas dimensões como pode ser a organização atômica num metal.



“Rede cristalina” no metal 1

“Rede cristalina” no metal 2

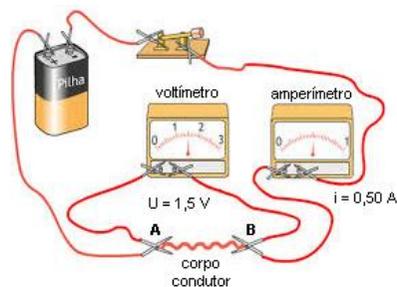
Os metais reais, entretanto, não possuem rede cristalina perfeitamente organizada. Muitas vezes não são puros, pois têm átomos de outras substâncias diluídos no meio. Isso produz distorções nas fileiras da rede. Além disso, segundo outro modelo científico da matéria, o *cinético-molecular*, o calor gera vibrações nos íons da rede fazendo-os sair ligeiramente de suas posições constantemente. Então as vibrações térmicas, a presença de átomos de outros elementos, esmagamentos e outros fatores alteram a organização e os espaços entre íons.



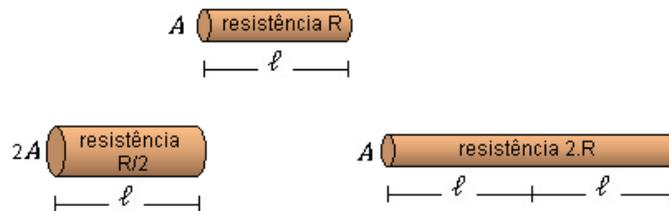
Átomos “estranhos” em uma rede cristalina.

### 2. Resistência Elétrica

É sabido que quando submetemos um objeto de qualquer material condutor a uma diferença de potencial, conectando os polos de uma pilha elétrica, por exemplo, em dois pontos diferentes do objeto de modo a formar um circuito elétrico fechado, pode-se gerar uma corrente elétrica por todo o circuito. Isso vai depender da resistência elétrica oferecida pelo circuito e, principalmente, pelo objeto. Georg Simon Ohm (1787-1854) definiu a medida da resistência elétrica em um objeto como a razão do valor da tensão elétrica aplicada entre dois pontos pela intensidade da corrente elétrica que se estabelece entre eles. Matematicamente, essa definição é expressa por  $R = U/i$ , onde  $U$  é a diferença de potencial e  $i$  é a corrente. Devido a essa resistência, os elétrons perdem energia aquecendo o condutor, gerando o efeito Joule.



Analisando a resistência elétrica em fios metálicos (os metais, em geral, são bons condutores elétricos), foi possível notar que sua medida possui dependência direta com o comprimento do fio e dependência inversa com a área da seção transversal deste. Em outras palavras, quanto mais longo e/ou mais fino o fio, maior valor tem sua resistência elétrica.



A resistência elétrica de um condutor depende dentre outras coisas, do seu formato geométrico.

#### Atividade 1

- Você consegue identificar as razões dessa relação? Com base nas ideias do texto e do que você aprendeu nas aulas de resistência elétrica, formule uma explicação coerente para ela ser maior se o fio condutor for mais longo. Também formule uma explicação para argumentar que a resistência elétrica é maior se o fio for mais fino.

Porém, isso não é tudo. A tabela abaixo contém informações sobre a tensão aplicada e a correspondente corrente elétrica estabelecida em fios condutores à temperatura de 20 °C, feitos de metais diferentes. Esses fios possuem comprimentos iguais e espessuras iguais (portanto, áreas de seção transversal iguais).

material	U (V)	i (A)	R (Ω)
Fio de prata	1	12,58	
Fio de cobre	1	11,90	
Fio de ouro	1	8,20	
Fio de alumínio	1	7,09	
Fio de ferro	1	2,00	

#### Atividade 2

- Comparando as intensidades de corrente elétrica estabelecidas em cada fio pela mesma tensão elétrica, conclui-se que a condutividade de algum fio é melhor do que de outro? (Desenvolva sua resposta).
- Complete a tabela calculando a resistência elétrica de cada fio.
- Os valores das resistências elétricas podem confirmar a resposta à primeira questão? Justifique.
- Que fator pode ter gerado as diferenças observadas na tabela?
- Formule uma explicação lógica e coerente com as informações do texto para as causas dos resultados acima.

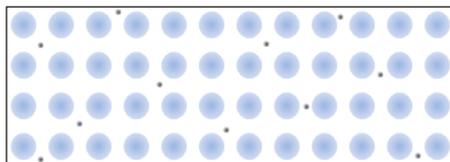
### 3. Resistividade Elétrica

Conforme a leitura anterior, diversos são os fatores que determinam a resistência elétrica de um corpo material. Pudeste perceber que não só fatores geométricos (formato), mas também o material de que é feito afetam a resistência elétrica. Dito de forma mais precisa, a resistência elétrica depende também de fatores físicos intrínsecos ao material que constitui o corpo. Para considerar estes fatores intrínsecos criou-se uma nova grandeza física, denominada *resistividade*.

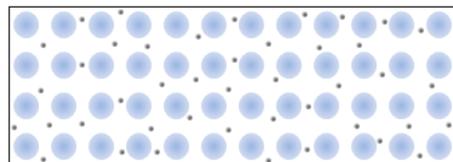
Resistividade elétrica é, portanto, a propriedade dos materiais que os definem como bons ou maus condutores de corrente elétrica. É ela que atrapalha o movimento dos elétrons livres que compõem a corrente elétrica. De modo simplificado, podemos dizer que a resistividade está associada à interação entre os elétrons que se deslocam e os íons que compõem a rede cristalina do metal. Esta interação é relacionada ao livre caminho médio dos portadores de carga, os elétrons. Entenda-se por livre caminho médio a distância média que um elétron consegue percorrer sem “bater” em outro elétron ou nos íons da rede.

São alguns dos fatores que contribuem para a resistividade:

- o modo como os íons da rede estão dispostos (arranjo atômico);
- a presença ou não de átomos de outros elementos na rede (impurezas);
- maior ou menor agitação térmica tanto dos íons quanto dos elétrons livres;
- a densidade de elétrons livres disponíveis para a condução, etc.

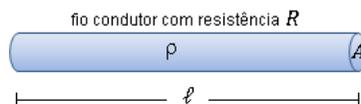


Metal com pouca densidade de elétrons livres.



Metal com bastante densidade de elétrons livres.

A resistividade elétrica é representada pela letra grega “ $\rho$ ” e, em unidades SI, sua intensidade é expressa em ohm vezes metro ( $\Omega \cdot m$ ), embora seja comum expressá-la em outras unidades também. Matematicamente, sua relação com a resistência elétrica pode ser representada através da fórmula abaixo, que sintetiza o que se conhece como a segunda Lei de Ohm para a resistência elétrica:



$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Tabela de resistividade de alguns materiais, a 20°C.

Material	Resistividade [ $\rho$ ] $\Omega \cdot m$
Alumínio	$2,83 \times 10^{-8}$
Latão	$7,00 \times 10^{-8}$
Cobre recozido	$1,72 \times 10^{-8}$
Cobre duro	$1,78 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,45 \times 10^{-8}$
Chumbo	$22,10 \times 10^{-8}$
Níquel-cromo	$100,00 \times 10^{-8}$
Platina	$10,00 \times 10^{-8}$
Prata	$1,64 \times 10^{-8}$
Estanho	$11,50 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,52 \times 10^{-8}$
Zinco	$6,23 \times 10^{-8}$
Ferro	$9,68 \times 10^{-8}$

### Atividade 3 – Responda as questões abaixo.

- 4) Deseja-se obter um fio de *nicromo* com um milímetro de diâmetro e que apresente, à temperatura de 20 °C, resistência elétrica de sete ohms. De quantos metros deve ser o seu comprimento?
- 5) Se tomarmos dois fios metálicos, um de estanho e um de ferro com áreas de secção reta iguais, podemos considerar que suas resistências elétricas serão iguais, à temperatura de 20 °C?
- 6) Descubra em que condição os fios citados na questão anterior podem apresentar resistências elétricas iguais um em relação ao outro.

## AULA 3 – SUPERCONDUTIVIDADE COMO ESTADO CONDUTOR SEM RESISTÊNCIA ELÉTRICA

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ☞ Analisar e interpretar gráficos de resistividade *versus* temperatura.
- ☞ Descrever e justificar a relação entre resistividade e temperatura.
- ☞ Identificar, através desses gráficos, um material supercondutor.
- ☞ Associar a possibilidade de supercondução à condição térmica e demais fatores discutidos na aula anterior (Aula 2).
- ☞ Reconhecer a condução e a supercondução como diferentes estados de condutividade de um mesmo material; definir supercondutividade.

### CONTEÚDO:

Influência da temperatura na condutibilidade elétrica de um metal.

Análise de dados empíricos sobre a resistividade elétrica do cobre, ouro, prata e nióbio.

### PRÉ-REQUISITOS:

Noções sobre corrente elétrica em metais, resistência, resistividade elétricas e os fatores que a influenciam; Termometria, escala absoluta de temperaturas, Kelvin;

### RECURSOS:

- ✓ Cópia impressa do texto “A ‘Descoberta’ da Supercondutividade” e das fichas 1, 2 e 3 para cada aluno;
- ✓ Quadro negro e giz ou equivalente.

### AVALIAÇÃO:

Levar em consideração o envolvimento do aluno nas atividades individuais de interpretação e em grupo, nas discussões promovidas, bem como a qualidade de suas intervenções.

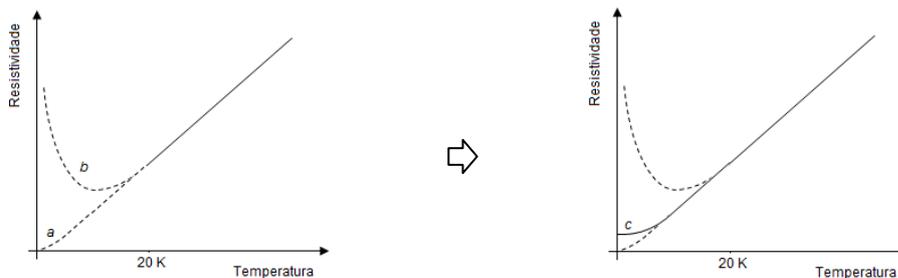
### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

**MOMENTO 1**

Entregar a cada aluno a ficha 1, que é cópia impressa dos gráficos da resistividade do cobre e do ouro para o intervalo de temperaturas acima de 200 K. Dar alguns minutos para que, individualmente, ele analise os gráficos buscando entender a relação qualitativa entre a resistividade e a temperatura. Estimular o debate das ideias. Cabe ao professor, nesta atividade, provocar a análise com questionamentos se houver dificuldades, resistência ou dispersão por parte dos alunos, levando-os a expressarem verbalmente suas interpretações. Incitar o aluno a prever, a partir dos gráficos, o que acontece com a resistividade se baixamos a temperatura até próximo do zero absoluto. Orientar para que faça relações com as ideias do texto e discussões da aula

anterior (agitação térmica e movimento eletrônico), caso isso não ocorra espontaneamente. Recomendar que o aluno cole a ficha no caderno e anote as discussões e a interpretação adequada dos gráficos.

Após a discussão e debate entre os alunos, comparar as ideias manifestadas por eles com as principais previsões científicas consideradas até meados de 1907 (elétrons “congelados” e resistividade infinita - curva “b” do Gráfico A - ou resistividade nula e correntes “infinitas” - curva “a”), quando ainda não se dispunha de tecnologia para obter temperaturas muito abaixo de 20 K. É interessante esboçar no quadro um gráfico qualitativo, que represente essas visões, semelhante aos mostrados abaixo (destaca-se que 20 K é apenas uma referência). Inicialmente, esboçar apenas as curvas “a” e “b” (Gráfico A), discutindo o que representam. Salientar que são especulações do que poderia ocorrer com a resistividade do material se a temperatura pudesse ser baixada para níveis próximos ao zero absoluto, uma vez que tais medições ainda não podiam ser realizadas.



Gráficos (A), à esquerda, e (B), à direita.  
Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Tempo previsto  
15 min.

Sugere-se que estes gráficos permaneçam no quadro até o final da aula.

**MOMENTO 2**

Entregar a cada aluno a ficha 2, que é cópia impressa dos gráficos da resistividade do cobre e do ouro no intervalo de temperaturas de 0 a 40 kelvins. Solicitar para que os interpretem e confrontem os dados desses gráficos com as previsões levantadas nos gráficos anteriores. Provocar o aluno no sentido de que ele apresente uma explicação para tal resultado. Novamente, estimular o debate das ideias que forem surgindo e conduzir para que expressem argumentos coerentes e válidos. Se for o caso, para ajudar, sugerir alguns argumentos como hipóteses que os alunos devem julgar se valem. Sempre recomendar que o material recebido seja colado no caderno e que anotações sobre as discussões e a interpretação que se deve dar aos gráficos devem ser feitas.

Para encerrar esse momento, o professor pode falar no desenvolvimento de técnicas de criogenia que ocorreu na primeira década do séc. XX e que permitiram alcançar temperaturas muito próximas de 0 K, possibilitando avançar nas pesquisas sobre a resistividade dos materiais em baixas temperaturas. Destacar que, embora os gráficos apresentados sejam apenas para o cobre e o ouro, tais resultados são semelhantes para os metais em geral, pois a resistividade destes sistemas tende a estabilizar num determinado valor residual (positivo). Esboçar no Gráfico A, que está no quadro, a curva “c”, que expressa essa informação. Salientar que essa característica passou a ser, naquela época, considerada padrão para os metais.

Tempo previsto  
10 min.

### MOMENTO 3

Tempo  
previsto  
15 min.

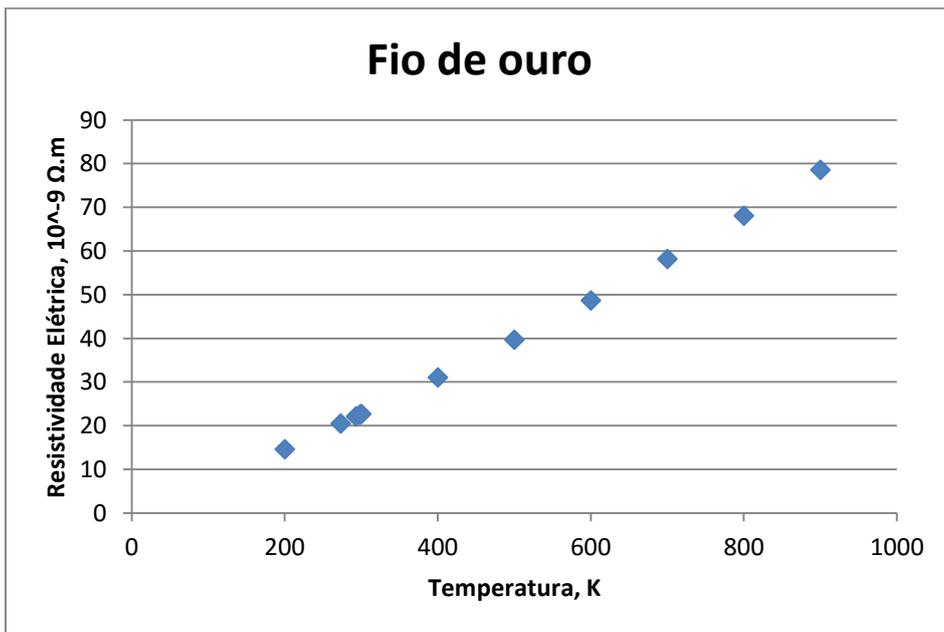
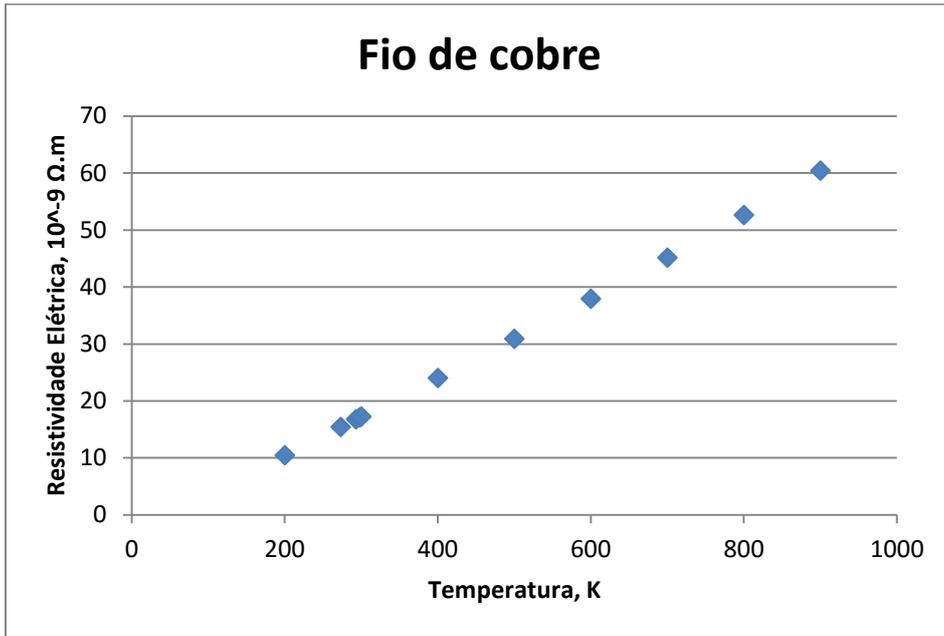
Individualmente, cada aluno recebe a ficha 3 que contém o gráfico que mostra (dados empíricos) a resistividade do cobre, da prata e do nióbio para temperaturas próximas do zero absoluto. Questionar se os dados para o cobre estão coerentes com o gráfico analisado anteriormente. Insistir no questionamento até concluírem por si, preferencialmente, que são coerentes. Questionar também sobre os dados referentes à prata (se era esperado um resultado assim ou deveria ser diferente). Incitar que os alunos expressem argumentos que corroborem suas respostas, sempre buscando aplicar as ideias e conceitos já trabalhados.

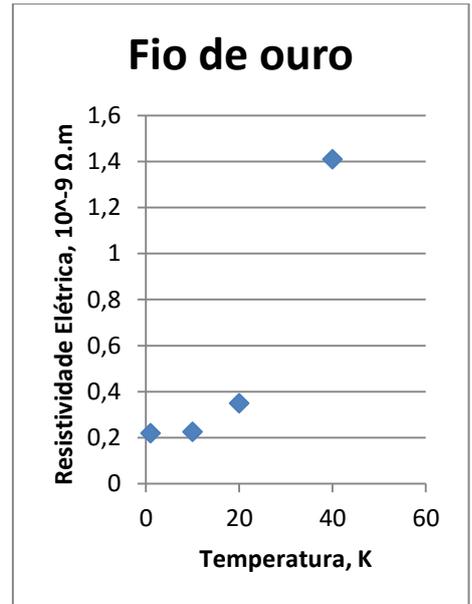
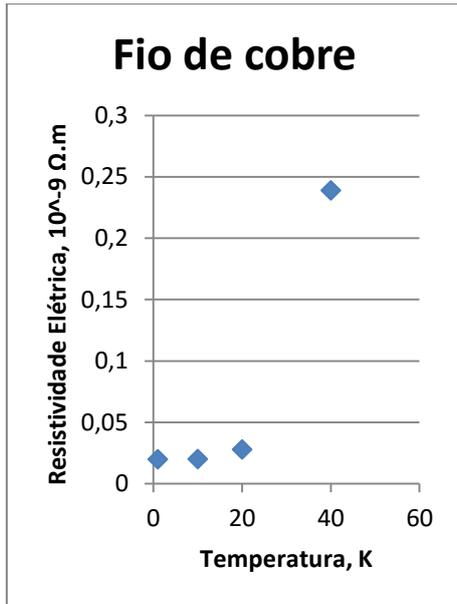
Por fim, questionar sobre o que entendem em relação a o que ocorreu com o nióbio. Pedir para que o aluno faça sua interpretação para a diferença observada no gráfico do nióbio em relação aos dos outros dois metais. Descrever verbalmente o que significa fisicamente a “anomalia” evidente para o nióbio e que reflexos isso tem para a resistência elétrica e para a corrente elétrica que se pode estabelecer no material, naquela situação. Questionar sobre o efeito Joule nessa condição. Deseja-se que o aluno perceba a “estranheza” do que ocorreu com o nióbio e os reflexos disso (perda de resistência elétrica; a possibilidade de condução sem ocorrência do efeito joule; condução de corrente elétricas extremamente elevadas etc.). Então, depois das discussões, solicitar para que sugiram um nome para a nova condição física do nióbio, no contexto da condutibilidade elétrica. Se o termo supercondutor não surgir, pode-se provocar com sugestões como “melhor condutor de todos”, “muito bom condutor”, “muitíssimo melhor condutor” etc. até que o termo esperado - *supercondutor* – apareça (preferencialmente!). Então, para reforçar, questionar o porquê do “super”.

### MOMENTO 4

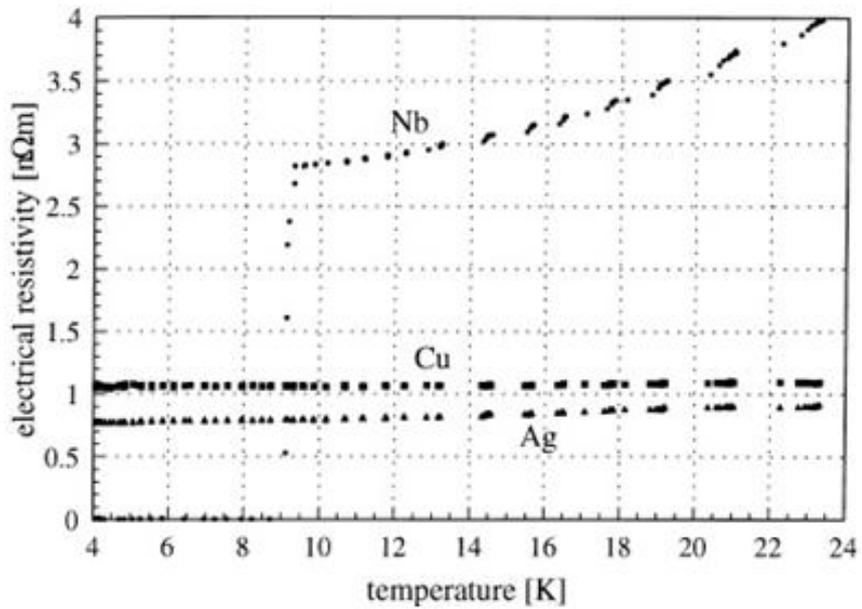
Tempo  
previsto  
10 min.

Como complemento a tudo o que foi discutido nesta aula, encerrar com a leitura do texto “A ‘Descoberta’ da Supercondutividade”, também a ser entregue em cópia impressa para cada aluno. É preferível que a leitura seja em voz alta, um parágrafo por aluno, por exemplo. Nos momentos oportunos, é interessante parar a leitura para fazer comentários. Se for o caso, a leitura poderá ser concluída em casa.





### FIOS DE COBRE, PRATA E NIÓBIO



## A 'Descoberta' da Supercondutividade



Figura 1: Heike Kamerlingh Onnes - 1853 a 1926

O físico holandês Heike Kamerlingh Onnes, fundador de um importante laboratório de criogenia em 1904 foi um grande pesquisador de fenômenos a baixas temperaturas. Em 1906 conseguiu, com seus colaboradores, liquefazer o hidrogênio, obtendo temperaturas inferiores a  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ou 20 K até o limite de 14 K (ponto de solidificação do hidrogênio).

Nessa época, com relação à influência da temperatura na condutância elétrica dos materiais havia o seguinte pensamento: acreditava-se que, se fosse possível baixar a temperatura de um metal condutor para valores próximos do zero absoluto (0 K ou  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ocorreria uma das seguintes situações: ou os íons da rede cristalina do

metal diminuiriam sua vibração térmica até parar completamente e, então, os elétrons livres passariam a se mover sem obstáculos e sem perdas de energia por colisão OU tanto os íons quanto os elétrons "congelariam", perdendo sua mobilidade e não seria mais possível ocorrer correntes elétricas de valor importante, o que equivale a considerar que a resistência elétrica aumentaria muito, para níveis infinitamente elevados. Para Onnes, a primeira opção fazia mais sentido, mas admitia que apenas para metais puros a resistência se tornaria zero e se pôs a investigar.

Melhorando suas técnicas de abaixamento da temperatura, em 1908 conseguiu a façanha de obter temperaturas de até 1 K, por meio da liquefação de outro elemento, o hélio que em temperatura ambiente, assim como o hidrogênio, apresenta-se como um gás. Em 1910 fez seu primeiro experimento para observar como a resistência elétrica muda com a temperatura para um fio de platina que foi sendo resfriado. Notou que sua resistência elétrica diminuía, mas tendendo a um valor positivo até a temperatura atingir 4,5 K e depois mantinha-se praticamente constante (sem tender a zero), não dependendo mais da temperatura. Onnes entendeu, com isso, que os elétrons não "congelam" como se supunha e também que a platina que utilizara não era pura. Decidiu, então, refazer o experimento com mercúrio que, pela tecnologia da época, era o metal que melhor podia-se purificar. E também porque o gráfico conhecido da resistência do mercúrio disponível na época indicava grande inclinação em 14 K.

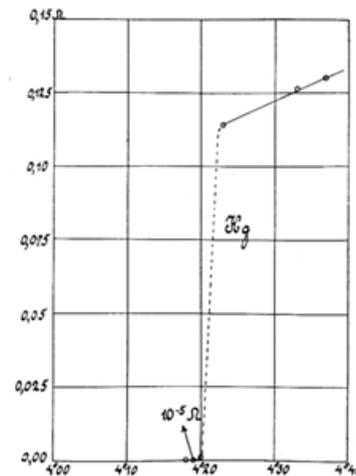


Figura 2: Gráfico histórico da resistência x temperatura feito por H. K. Onnes em seu experimento com o mercúrio no ano de 1911, demonstrando a queda brusca da resistência em 4,2 K.

Os dados coletados neste segundo experimento, ocorrido em 26 de outubro de 1911 pela equipe de H. K. Onnes em seu laboratório, revelaram uma grande surpresa. Resfriando até temperaturas ligeiramente abaixo de 4,3 K a resistência elétrica apresentava valores importantes, mas ao baixar para 4,2 K o valor dessa resistência despencou para valores tão ínfimos que praticamente desapareceu! Ou seja, a resistência nula que Kamerlingh esperava ocorrer somente no zero absoluto subitamente ocorreu à temperatura de 4,2 kelvins de forma totalmente inesperada, como revela o gráfico da figura 2, com a grafia do próprio Onnes.

Muito intrigado com o fenômeno, Onnes desconfiou de sua experiência, mas publicou seu resultado na semana seguinte. A análise de seus dados revelam que o mercúrio, ao atingir a temperatura de 4,2 K assume uma nova condição física, na qual sua resistividade (e resistência elétrica) praticamente não existe e, portanto, uma corrente elétrica que o atravesse não dissipa energia, como ocorre em qualquer condutor em altas temperaturas. A essa nova condição do mercúrio, Kamerlingh denominou supracondutividade que, depois passou a se chamar de *supercondutividade*. E a temperatura abaixo da qual o mercúrio torna-se supercondutor passou a ser identificada por temperatura crítica,  $T_c$ .

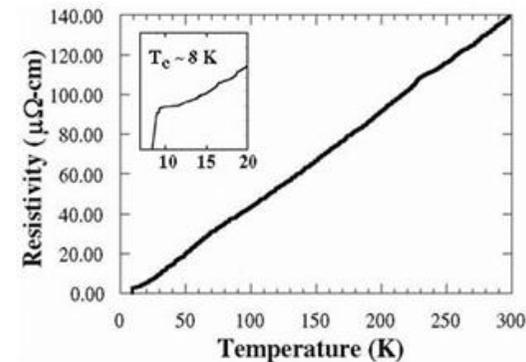


Figura 3: Resistividade do chumbo cai bruscamente a zero à temperatura de 7,2 Kelvin, revelando seu caráter supercondutor.

Fonte: [www.bpc.edu/mathscience/faculty/jones/chapter\\_1\\_01.html](http://www.bpc.edu/mathscience/faculty/jones/chapter_1_01.html).

mostrando que o experimento de Kamerlingh não estava falho e que o observado tratava-se de um fenômeno novo, desconhecido até então.

O fenômeno da supercondutividade imediatamente começou a ganhar importância científica cada vez maior. E sua "descoberta" não teria sido possível sem o desenvolvimento de técnicas para obtenção de temperaturas extremamente baixas, muito próximas do zero kelvin (zero absoluto) protagonizado por H. K. Onnes. E, por este feito, o holandês foi o merecedor do Prêmio Nobel em Física no ano de 1913. OBS: Falta legenda nas figuras

Outros cientistas, em outros laboratórios, logo repetiram o experimento de H. K. Onnes e chegaram aos mesmos resultados que ele. Poucos meses depois, no ano de 1912, foi descoberto que com fios de estanho e com fios de chumbo ocorre o mesmo comportamento. Em dezembro do mesmo ano, observou-se que mesmo com mercúrio não puro tal comportamento se repetia, porém a partir de outra temperatura crítica,

## AULA 4 – INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E DIAMAGNETISMO

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ☞ Recordar e debater o que fora estudado sobre “magnetismo da corrente elétrica” e “classificação magnética dos materiais”.
- ☞ Descrever comportamento diamagnético e citar exemplos.
- ☞ Demonstrar experimentalmente a indução eletromagnética e identificar uma aplicação prática.
- ☞ Interpretar a Lei de Lenz do eletromagnetismo.
- ☞ Associar a reação eletromagnética de uma bobina à aproximação de um ímã com um comportamento diamagnético.

### CONTEÚDO:

Classificação magnética dos materiais / Indução eletromagnética e Lei de Lenz / Experimentos.

### PRÉ-REQUISITOS:

Noções sobre o magnetismo de ímãs e de correntes elétricas em condutores retilíneos e bobinados; aplicação da “regra da mão direita”; caracterização de ferromagnetismo, paramagnetismo e diamagnetismo;

### RECURSOS:

- ✓ 1prego grande;
- ✓ 1 metro de fio condutor encapado fino;
- ✓ 1 pilha em bom estado;
- ✓ Pequenos objetos leves de metal ferromagnético (clipes para papel, moedas etc.);
- ✓ 1 miliamperímetro analógico didático;
- ✓ 1 bobina de transformador didático ou similar (200 espiras ou mais);
- ✓ 1 ímã em barra, com polos magnéticos nas extremidades;
- ✓ 2 cabos condutores para conexão;
- ✓ Quadro negro e giz ou equivalente;
- ✓ Projetor multimídia;
- ✓ Computador de mesa ou portátil;
- ✓ Conexão com internet com habilitação para acesso ao *site* Youtube.

Na impossibilidade de conexão com a internet, baixar previamente os seguintes arquivos:

- vídeo “*O grafite que foge do ímã*”, disponível em <<<https://www.youtube.com/v/j-umMGKx6iE>>>. Acessado em 10/11/2014.
- vídeo “*Tube Antigravidade*”, disponível em <<<https://www.youtube.com/v/CZCUuU3PYTE>>>. Acessado em 10/11/2014.
- vídeo “*Lei de Lenz*”, disponível em <<<https://www.youtube.com/v/GMP14t9mgrc>>>. Acessado em 10/11/2014.

**AVALIAÇÃO:**

Levar em consideração o envolvimento do aluno nas atividades de discussão no grande grupo ao longo da aula.

**PROCEDIMENTO SUGERIDO:****MOMENTO 1**Tempo previsto  
10 min.

Iniciar a aula recordando o poder magnético das correntes elétricas. Para tal, construir um eletroímã com o prego e o fio condutor encapado e a pilha. Mostrar que o eletroímã não atrai quando desligado, aproximando-o de cliques, moedas etc. Com os dedos de uma mão manter os contatos elétricos do eletroímã e pilha apertados de modo a ligá-lo e aproximar novamente dos objetos metálicos. Questionar de onde vem esse magnetismo; se é possível intensificá-lo; se é possível eliminá-lo. Ouvir as respostas e/ou hipóteses e depois testá-las com o experimento.

**MOMENTO 2**Tempo previsto  
15 min.

Recordar as principais classes magnéticas dos materiais: ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos. Para tal, questionar sobre as principais diferenças entre elas, observáveis macroscopicamente nas interações com ímãs. Solicitar que descrevam essas características através do modelo dos “ímãs elementares”. Chamar a atenção para o comportamento diamagnético, como sendo a repulsão a campos magnéticos (de ímãs em barra, por exemplo) manifestada por materiais em qualquer circunstância. Para finalizar, passar o vídeo “O grafite que foge do ímã” (2min38s), ressaltando a repulsão magnética observada.

**MOMENTO 3**Tempo previsto  
15 min.

Indução eletromagnética. Problematizar o magnetismo das correntes elétricas observado na atividade do eletroímã feito com o prego (momento 1 desta aula). Questionar o que deve ocorrer se colocarmos um ímã próximo de um fio condutor sem corrente elétrica. Aguardar as respostas e depois testá-las. Para tal, convidar um voluntário para montar um circuito fechado com miliamperímetro e uma bobina e executar as ações apontadas pelo grupo. Se for o caso, orientar para acomodar lentamente o ímã no interior da bobina. Retirar lentamente e movimentar lentamente o ímã no entorno da bobina e dos fios de conexão observando que nada ocorre. Então introduzir, com movimento brusco, o ímã na bobina de modo que percebam por si que o ponteiro do amperímetro se move. Deixar os alunos à vontade para explorar essa situação com diversos movimentos (afastar e aproximar ímã rapidamente e invertendo os polos). Questionar os alunos sobre o que está acontecendo na bobina. Por que o ponteiro ora desvia para um lado, ora desvia para outro lado? Problematizar com questões como: que relação isso pode ter com o sentido da corrente elétrica na bobina? Se surge corrente elétrica na bobina, como será, então seu campo magnético? E sua polaridade? Conduzir a discussão de modo que consigam comparar e confrontar os campos magnéticos do ímã com o da bobina em dado momento. É desejável que cheguem ao ponto de notar que a indução de corrente na bobina ocorre apenas enquanto o ímã se move em relação a ela, mas que a corrente induzida logo desaparece. Questionar o que pode “frear” a corrente elétrica? Por que ela não continua? Em que circunstância(s) poderíamos esperar que a corrente elétrica induzida se preservasse, sem enfraquecer? O ideal é que respondam algo do tipo “quando não houvesse resistência elétrica”. Então, passar para a atividade seguinte.

**MOMENTO 4**Tempo previsto  
10 min.

Exibir o vídeo “Lei de Lenz” (4min11s) e, após, o vídeo “Tubo Antigravidade” (2min43s) e discutir o porquê do efeito “antigravidade”, buscando relações com a Lei de Lenz e o comportamento diamagnético de uma espira de corrente, em referência à bobina trabalhada e experimentada no início da aula. Se necessário, pode-se solicitar que os alunos façam esse estudo em casa, fornecendo-lhes os endereços eletrônicos dos vídeos.

## AULA 5 – EFEITO MEISSNER

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ☞ Definir o Efeito Meissner.
- ☞ Articular conhecimentos de aulas anteriores para justificar o Efeito Meissner.
- ☞ Associar o Efeito Meissner com fenômenos como: indução eletromagnética em supercondutores, ocorrência de correntes elétricas “persistentes”, diamagnetismo “perfeito” e levitação magnética passiva.
- ☞ Distinguir supercondutor de um hipotético condutor perfeito.
- ☞ Reconhecer a Supercondutividade como um estado especial que alguns materiais podem assumir.

### CONTEÚDO:

Corrente elétrica persistente / condutor perfeito / sobreposição de linhas de indução / levitação magnética.

### PRÉ-REQUISITOS:

Familiaridade com: a relação corrente *versus* resistência elétrica; magnetização; diamagnetismo e indução eletromagnética; reconhecimento, representação e interpretação de espectros magnéticos de ímãs e bobinas elétricas.

### RECURSOS:

- ✓ Projetor multimídia;
- ✓ Computador de mesa ou portátil;
- ✓ Arquivo de apresentação em slides, disponível em:  
<<[https://dl.dropboxusercontent.com/u/37872523/Supercondutividade\\_arq%20ppt/Compara%C3%A7%C3%A3o%20condutor%20perfeito%20x%20supercondutor.pptx](https://dl.dropboxusercontent.com/u/37872523/Supercondutividade_arq%20ppt/Compara%C3%A7%C3%A3o%20condutor%20perfeito%20x%20supercondutor.pptx)>>;
- ✓ Vídeo “*Magnetic Levitation*”, disponível em <<<https://www.youtube.com/v/nWTSzBWEsms>>>. Acessado em 10/11/2014.
- ✓ Vídeo “*Super Levitação - supercondutor*”, disponível em <<<https://www.youtube.com/v/p3drZELYZE&>>>. Acessado em 10/11/2014.
- ✓ Quadro negro e giz ou equivalente.

Na impossibilidade de conexão com a internet, baixar previamente os arquivos necessários.

### AVALIAÇÃO:

Será levado em consideração o envolvimento do aluno nas atividades de discussão no grande grupo ao longo da aula, bem como o teor de suas respostas e comentários a questionamentos verbais.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

### MOMENTO 1

Tempo previsto  
5 min.

Recordar por meio de questionamentos a discussão da aula anterior sobre a indução eletromagnética causada por um ímã que se move próximo de uma bobina condutora e a característica diamagnética que parece se estabelecer nela. Ressaltar que tais fenômenos são temporários e duram enquanto o ímã se move. Questionar o que ocorreria se a bobina fosse construída com um material perfeitamente condutor (ou “condutor perfeito” – aquele que, idealmente, não oferece nenhuma resistência elétrica).

### MOMENTO 2

Tempo previsto  
25 min.

Passar o vídeo “Magnetic Levitation” (1min42s) que mostra um ímã permanente sendo acomodado sobre um corpo cerâmico no estado normal e depois no estado supercondutor. Quando no estado supercondutor, o ímã levita, tornando evidente a propriedade magnética adquirida por aquela cerâmica. Nesse momento, desafiar os alunos a apresentarem explicações para o que é observado. Propor a seguinte questão: por que o supercondutor repele o campo magnético do ímã? No vídeo há uma cena em que o ímã é puxado para cima e isso faz o corpo cerâmico ser puxado para cima também, o que demonstra que há uma interação dupla de repulsão e atração entre os materiais, lembrando a indução eletromagnética em bobinas e também o diamagnetismo.

Fazer um esquema no quadro negro com duas figuras: uma representando as linhas de indução do ímã atravessando o material supercondutor e, dentro dele, representar linhas de indução induzidas no sentido oposto; outra representando o campo magnético resultante, mostrando a curvatura das linhas como de fossem “expulsas” de dentro do supercondutor, formando um invólucro magnético que aprisiona o ímã no espaço. Identificar esse fenômeno como “Efeito Meissner”, que tem como uma consequência visível a flutuabilidade estável.

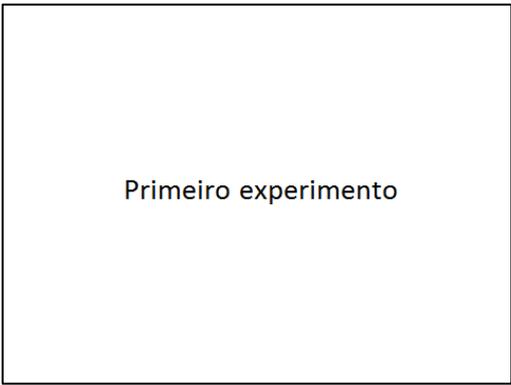
Encerrar esta atividade com o vídeo “Super Levitação – supercondutor”.

### MOMENTO 3

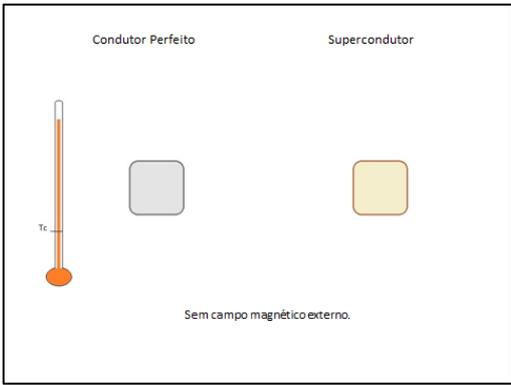
Tempo previsto  
20 min.

Investigar o estado supercondutor com a seguinte pergunta, a ser escrita no quadro negro: *o estado supercondutor é o mesmo que transformar um material em “condutor perfeito”?* Então, problematizar esta situação explorando o diamagnetismo do condutor perfeito (que ocorreria apenas quando o ímã se move e não com ele parado); confrontar com o diamagnetismo observado no supercondutor (que ocorre também com o ímã parado). Anotar as respostas mais significativas no quadro.

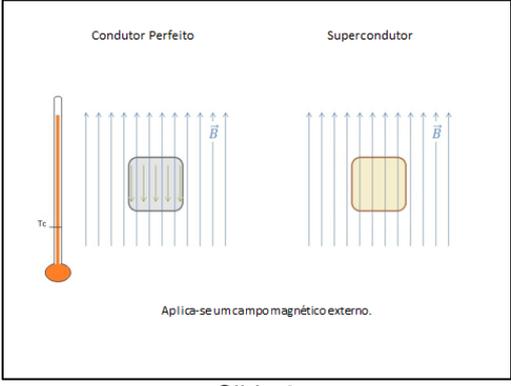
Em seguida, passar a sequência de imagens (slides) que representa um experimento em que se submete um hipotético condutor perfeito e um supercondutor ao mesmo processo de resfriamento com e sem campo magnético aplicado. Acompanhando passo-a-passo a sequência dos dois; observar os resultados. No final, retornar ao questionamento inicial e verificar se há modificação/adaptações das respostas anteriormente apresentadas.



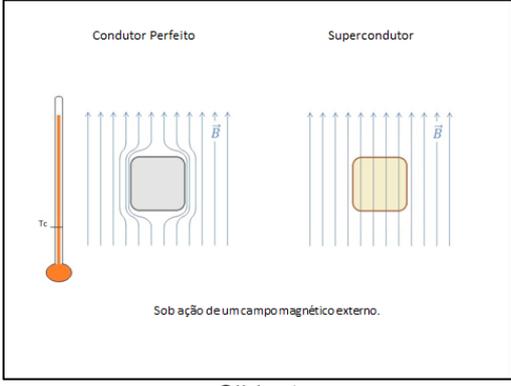
Slide 1



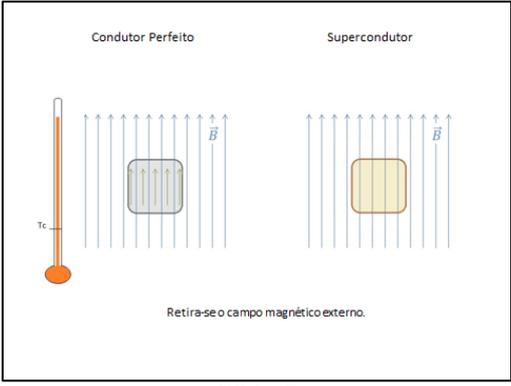
Slide 2



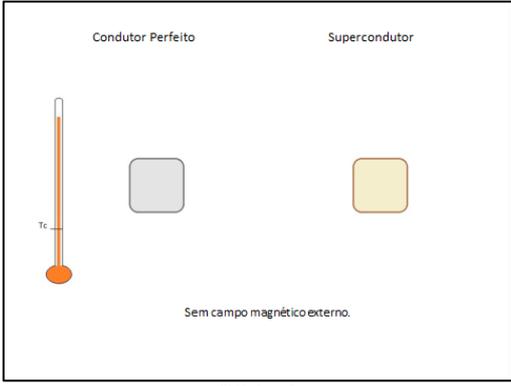
Slide 3



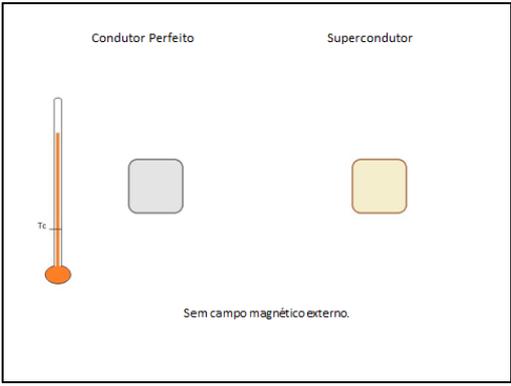
Slide 4



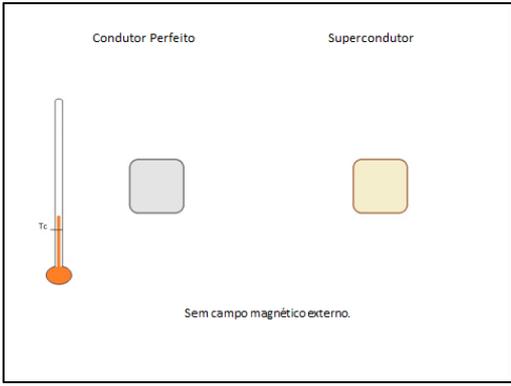
Slide 5



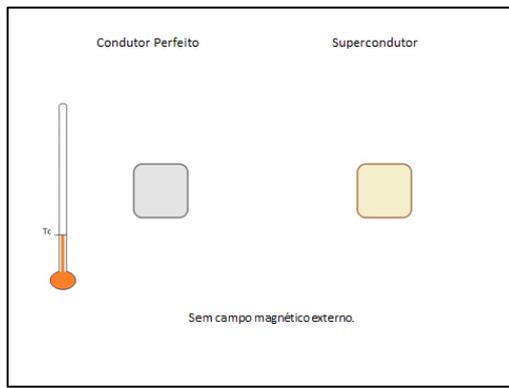
Slide 6



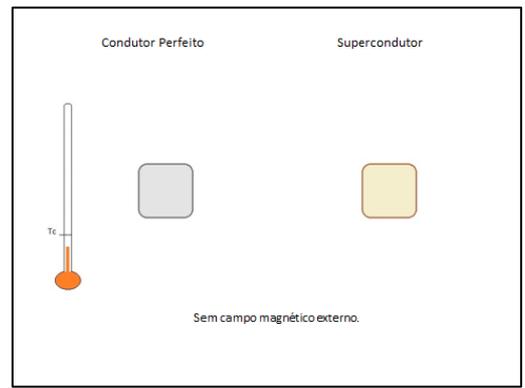
Slide 7



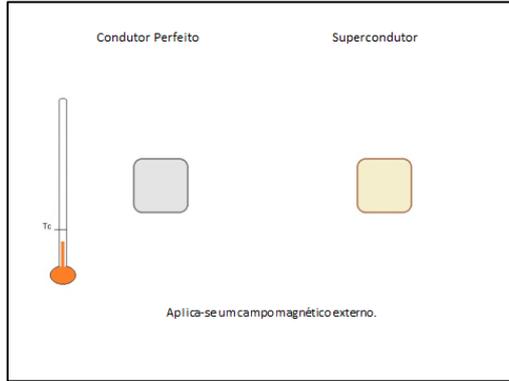
Slide 8



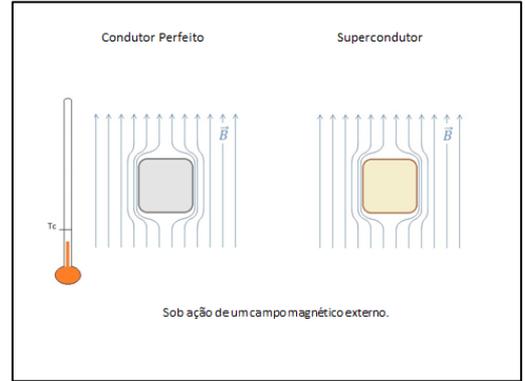
Slide 9



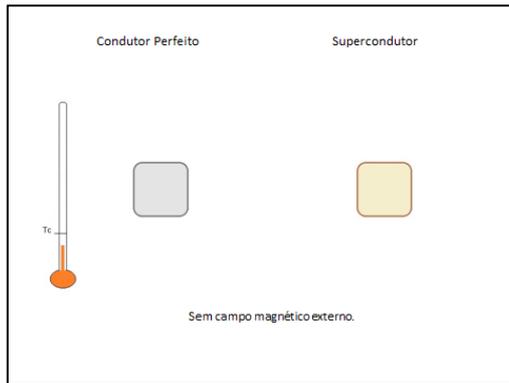
Slide 10



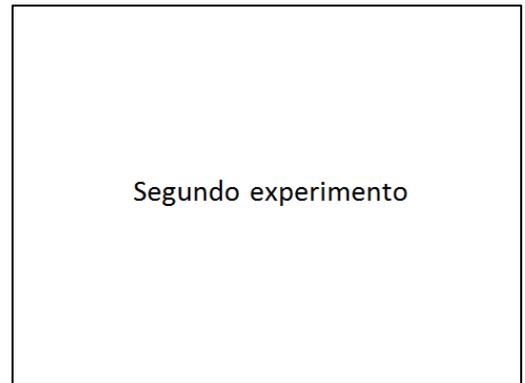
Slide 11



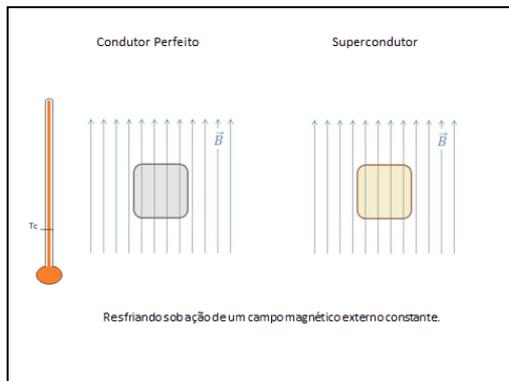
Slide 12



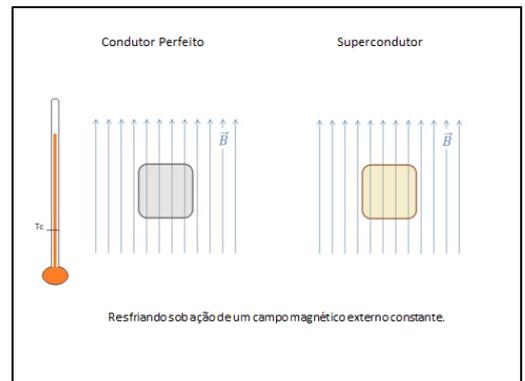
Slide 13



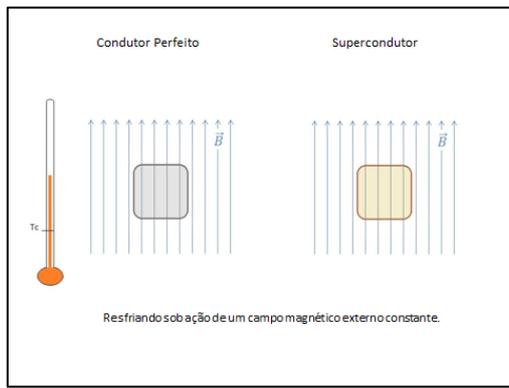
Slide 14



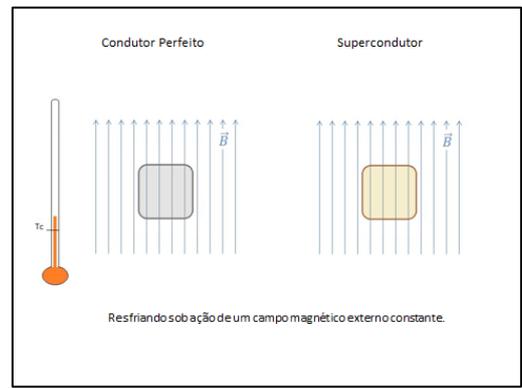
Slide 15



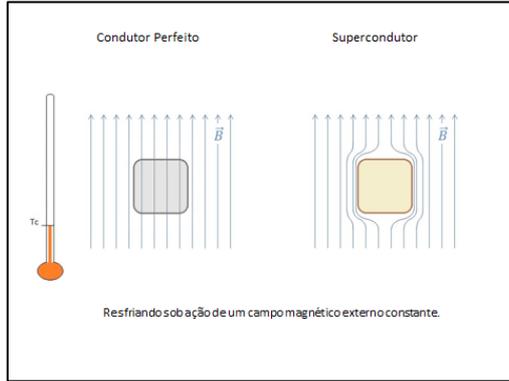
Slide 16



Slide 17



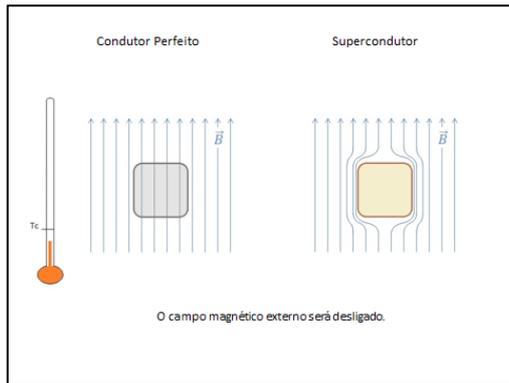
Slide 18



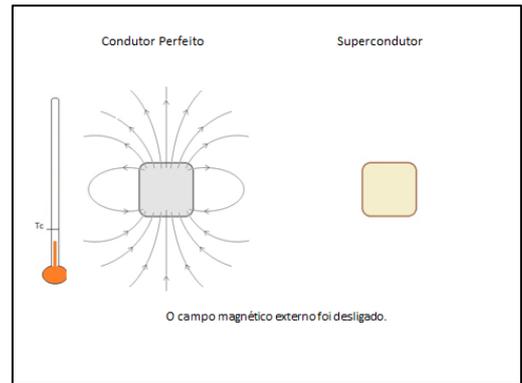
Slide 19



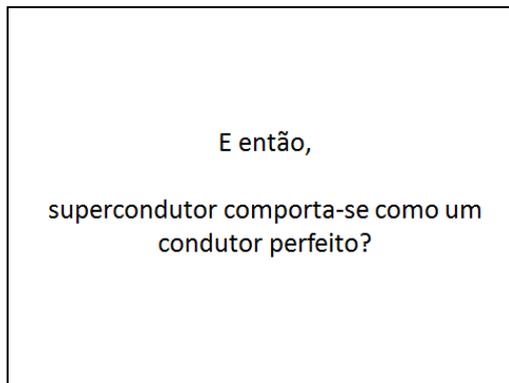
Slide 20



Slide 21



Slide 22



Slide 23

## AULA 6 – CAMPO MAGNÉTICO CRÍTICO

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ✎ Relatar dois fatores que comprometem o estado supercondutor, podendo destruí-lo.
- ✎ Reproduzir com palavras próprias o conceito de campo magnético crítico.
- ✎ Descrever a relação entre campo magnético aplicado e temperatura crítica.
- ✎ Ler e interpretar diagrama de fase.
- ✎ Identificar, através desses diagramas, os diferentes tipos de supercondutor e caracterizá-los.

### CONTEÚDO:

Relação  $B \times T_c$  para a supercondutividade / campo magnético crítico / supercondutor tipo I e tipo II

### PRÉ-REQUISITOS:

Definição e representação de campo magnético;  
Concepção de “temperatura crítica”, no contexto da supercondutividade; Efeito Meissner;

### RECURSOS:

- ✓ Cópias impressas das fichas 1, 2 e 3 para cada aluno;
- ✓ Quadro negro e giz ou equivalente.

### AVALIAÇÃO:

Será levado em consideração o envolvimento do aluno nas atividades, observando se há reflexão e interesse em acertar ao se expressar oralmente e também serão consideradas as respostas escritas da atividade final.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

MOMENTO 1

Tempo previsto  
10 min.

Entregar para cada aluno cópia impressa do gráfico  $\rho \times T \times B$  (ficha 1). Orientar para que os analisem individualmente e respondam às questões que o acompanham; incentivar que compartilhem e debatam com os colegas suas impressões. Em caso de necessidade, conduzir a atividade lendo cada questão para a classe; estimular que expressem respostas. Submeter cada resposta que surgir à análise do grupo e, se não acertarem, explicar a resposta correta. Por fim, as respostas finais devem ser registradas no caderno.

## MOMENTO 2

Organizar a turma em duplas e entregar a cada aluno uma cópia impressa dos gráficos  $B \times T$  do chumbo e do tântalo (ficha 2). Solicitar que os gráficos sejam analisados e interpretados. Então, fazer perguntas para que respondam em voz alta e debatam as respostas coletivamente. O professor pode conduzir a discussão através das seguintes questões (ou outras que considerar pertinentes):

- O que significa “ $T_c$ ”?
- Qual a intensidade de  $B$  para  $T_{c_{pb}} = 7,2 \text{ K}$ ? E para  $T_{c_{Ta}} = 4,47 \text{ K}$ ?
- É possível verificar a relação  $T_c \times B$  para o chumbo, como feito na atividade anterior para outro material?
- Uma vez que  $T_{c_{pb}} = 7,2 \text{ K}$ , estando o chumbo a menor temperatura, sempre manifestará propriedades de supercondutor? Desenvolva.
- Se submetido a  $B = 0,03 \text{ tesla}$ , qual será o limiar de temperatura para o chumbo ainda estar supercondutor?
- Qualitativamente, em que o tântalo difere do chumbo em suas propriedades elétricas em temperaturas próximas de  $0 \text{ K}$ ?
- O que representa, de acordo com o gráfico associado ao tântalo, um ponto acima da curva identificada por  $B_{c2}$ ?
- Identifique no gráfico um ponto que represente as condições para o tântalo estar com suas propriedades plenas de supercondutor.
- O estudo da supercondutividade levou a classificar os materiais que manifestam essa propriedade em dois grupos, identificados por “tipo I” e “tipo II”. O chumbo e o tântalo são um exemplo de cada grupo. O que motivou essa classificação?

Tempo previsto  
10 min.

Após a discussão dos questionamentos acima, passar para uma avaliação, ou seja, a atividade 3.

## MOMENTO 3

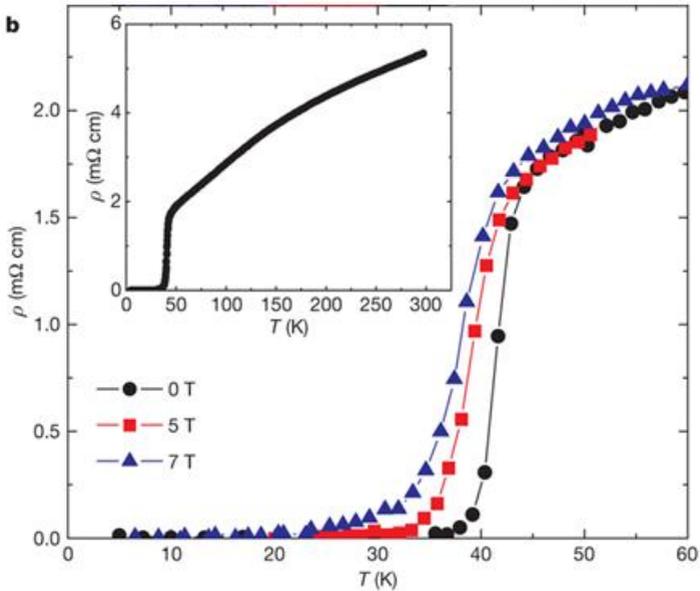
Entregar a folha com as atividades do trabalho avaliativo para que, em dupla, respondam e entreguem no final da aula. Incentivar que esta tarefa seja realizada somente pelas duplas, sem comunicação com as demais, podendo utilizar suas anotações feitas ao longo dos momentos anteriores.

Tempo previsto  
30 min.

# Ficha 1

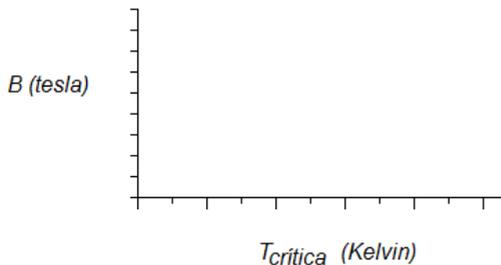
## Vulnerabilidades do Estado Supercondutor

Repare com atenção no gráfico abaixo.



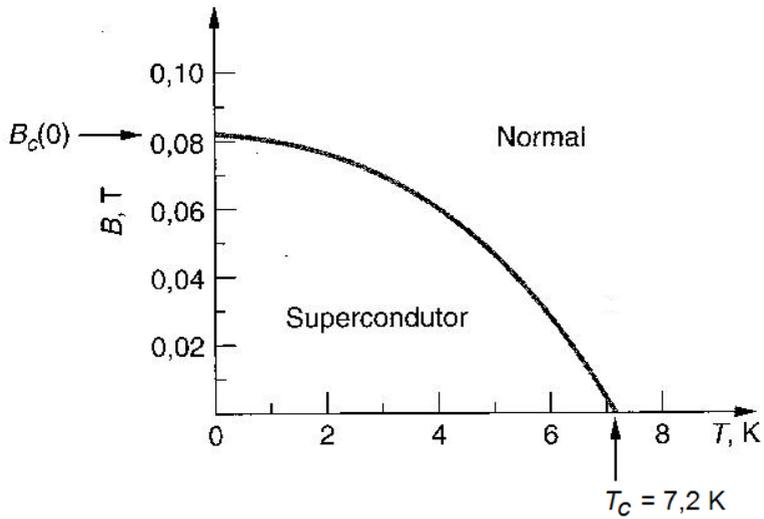
As três curvas representam medidas para um mesmo material.

- Que grandezas físicas estão relacionadas nesse gráfico?
- Esse material apresenta supercondutividade? Desenvolva.
- Identifique, ainda que aproximadamente, a temperatura abaixo da qual a resistividade passa a ser desprezível em cada curva (conjunto de medidas).
- A legenda permite identificar sob que condição cada conjunto de medidas foi realizada. Identifique essas condições e descreva que implicação elas tiveram para a temperatura crítica do material. **Obs.:** esse comportamento é comum a todos os materiais que apresentam supercondutividade.
- Esboce um gráfico  $B \times T_c$  para esse material com os três valores estimados acima.

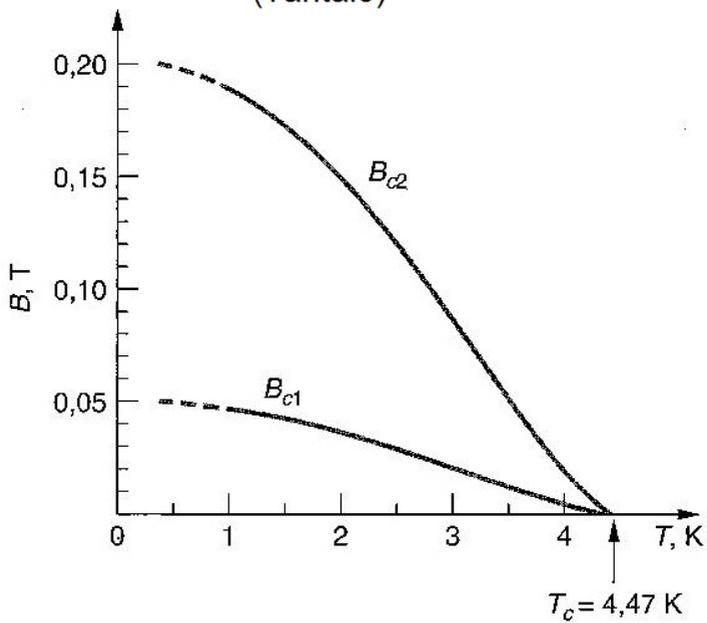


Ficha 2

(Chumbo)



(Tântalo)



### Trabalho Avaliativo de Física

Nomes:

Turma:

Data:

Responda as questões a partir da análise das curvas características do chumbo e do tântalo, para avaliação.

1) Quais são as grandezas físicas envolvidas nos gráficos? Em que unidade cada uma está expressa?

2) O que significa o símbolo " $T_c$ " que aparece nos dois gráficos? E que informação importante seu valor representa para o material?

3) Em que estado apresenta-se o chumbo nas condições destacadas abaixo? (Marque esses pontos no gráfico).

P1 (2 K, 0,09 T) →

P2 (2 K, 0,03 T) →

P3 (7 K, 0,03 T) →

4) É possível, estando a 7 kelvins, o chumbo tornar-se supercondutor? Se sim, do que isso depende?

5) É possível, ainda que resfriado a quase zero absoluto, o chumbo nunca apresentar Supercondutividade? Se sim, do que isso depende?

6) O que significa o símbolo " $B_c$ " que aparece no gráfico do chumbo? E que informação importante seu valor representa para o material?

7) Qual é o valor de  $B_c$  para o tântalo?

8) Deseja-se que o tântalo supercondutor, ao ser aquecido, transforme-se em condutor comum à temperatura de 4 K. De acordo com o gráfico, o que deve ser feito para que isso ocorra?

9) O que é o Efeito Meissner? Quando ele ocorre?

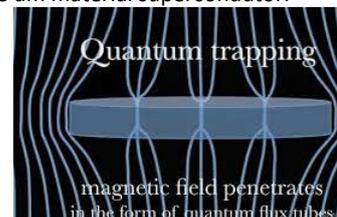
10) Considere o tântalo à temperatura de 2 K, submetido a um campo magnético de 0,150 tesla. A partir dessa condição, o que ocorre com a supercondutividade desse material se uma das seguintes alterações ocorrer?

a) Sua temperatura aumentar meio kelvin;

b) A intensidade do campo aplicado aumenta para 0,160 T;

c) A intensidade do campo magnético for diminuída para 0,020 T.

11) A imagem abaixo mostra linhas de indução atravessando parcialmente um material supercondutor.



Isso representa um Efeito Meissner total ou parcial?

12) Para o chumbo, ocorre o efeito total ou parcial? E para o tântalo?

13) A levitação magnética supercondutora é possível quando as condições permitem o Efeito Meissner. Em cada gráfico abaixo pinte com cores diferentes as regiões dele que representam as condições para o efeito ocorrer parcialmente e totalmente.

Gráfico 1

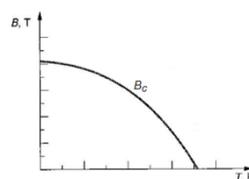
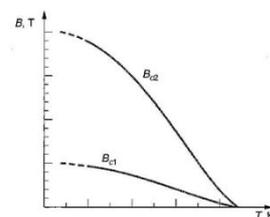


Gráfico 2



## AULA 7 – INTERPRETAÇÃO MICROSCÓPICA DA SUPERCONDUTIVIDADE – PARES DE COOPER

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ☞ Definir Pares de Cooper;
- ☞ Descrever em linhas gerais como se formam;
- ☞ Reconhecer a ideia dos pares de Cooper como o núcleo da teoria BCS e associar ao mecanismo que estabelece o estado supercondutor;
- ☞ Trabalhar colaborativamente na busca do entendimento das supercorrentes;
- ☞ Analisar animações sobre a dinâmica dos elétrons numa rede cristalina.

### CONTEÚDO:

Fônons / teoria BCS / pares de Cooper

### PRÉ-REQUISITOS:

Noções elementares sobre rede cristalina; impurezas da rede; agitação térmica; elétrons livres; interações coulombianas; corrente elétrica.

### RECURSOS:

- ✓ Cópia impressa do texto “Supercondutividade: uma descrição microscópica” para cada aluno;
- ✓ Quadro negro e giz ou equivalente;
- ✓ Projetor multimídia;
- ✓ Computador de mesa ou portátil;
- ✓ Conexão com internet com habilitação para acesso ao *site* Youtube.

Na impossibilidade de conexão com a internet, baixar previamente os seguintes arquivos:

“vibração térmica”, disponível em: <<<https://www.youtube.com/v/p9f6IHxZi5w>>>;

“elétron-fônon”, disponível em: <<[https://www.youtube.com/v/dV3Zi\\_Z4TAA](https://www.youtube.com/v/dV3Zi_Z4TAA)>>;

“par de Cooper”, disponível em: <<[https://www.youtube.com/v/pi7f4FJE\\_rM](https://www.youtube.com/v/pi7f4FJE_rM)>>.

### AVALIAÇÃO:

Será levado em consideração o envolvimento do aluno nas discussões no grande grupo e o teor de suas contribuições orais.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

**MOMENTO 1**

Organizar uma mesa redonda; iniciar a aula convidando o aluno a pensar nas causas da supercondutividade: resistividade “zero”; corrente elétrica sem resistência etc. Desafiá-lo a imaginar a dinâmica dos íons e elétrons do material e buscar argumentos claros sobre a “transformação do estado” normal em supercondutor. Incentivar que os alunos se manifestem e exponham suas ideias.

Tempo  
previsto  
15 min.

### MOMENTO 2

Projetar a animação “vibração térmica” e em seguida a animação “elétron-fônon”, que representa um elétron percorrendo uma rede cristalina causando perturbações (fônons). Questionar sobre o significado dos elementos dessas imagens (discos escuros, ponto em movimento...); o porquê da perturbação da rede; possíveis consequências para outros elétrons... Oferecer algum tempo (alguns minutos) para que os alunos se manifestem e exponham suas ideias.

Tempo  
previsto  
10 min.

### MOMENTO 3

Projetar a animação “Par de Cooper”, que representa elétrons se ligando, formando pares. Solicitar que descrevam o que estão vendo e se isso faz sentido de acordo com o que já conhecem sobre cargas elétricas. Questionar sobre o movimento dessa dupla, sua inércia, resistência a desvios quando comparada a elétrons individuais. Debater as ideias que surgem e introduzir o conceito de “Pares de Cooper”.

Tempo  
previsto  
15 min.

### MOMENTO 4

Encerrar a aula com a leitura do texto “Supercondutividade: uma descrição microscópica”, a ser entregue em cópia impressa a todos os alunos. Solicitar, se isto se mostrar necessário, que cada aluno leia um parágrafo e, sempre que for pertinente, fazer pausas para comentar o texto.

Tempo  
previsto  
10 min.

## Supercondutividade: uma visão microscópica

Desde a “descoberta” da supercondutividade até os dias atuais, um dos grandes desafios para os cientistas é compreender os mecanismos que a geram. Os conhecimentos eletrodinâmicos disponíveis na época não eram suficientes e, em certos aspectos, mostravam-se incompatíveis com as ideias que surgiam. Muitas décadas se passaram e ao longo delas o conhecimento científico evoluiu apoiado em princípios de uma nova mecânica, a Mecânica Quântica, ramo da Física que investiga o universo subatômico.

Segundo a descrição eletromagnética clássica, os elétrons são portadores de carga elétrica negativa e interagem uns com os outros manifestando repulsão mútua. Em metais (que são bons condutores), onde há elétrons “livres” que podem compor correntes elétricas, estes se movem aleatoriamente por entre os íons da rede cristalina desviando-se uns dos outros. Nesta movimentação, a agitação térmica da rede, suas impurezas e demais irregularidades impõem resistência, gerando perdas de energia por efeito Joule e etc. Porém o que era percebido no estado supercondutor é que os elétrons, subitamente, parecem comportar-se de outras formas, de modo tal que seus movimentos não mais são afetados pela rede cristalina e nem por outros elétrons. A resistividade elétrica do material torna-se rigorosamente nula.

A partir do ano 1950 começaram a surgir as primeiras pistas de como a supercondutividade pode se dar. À luz da mecânica quântica, John Bardeen, Leon Niel Cooper e John Robert Schrieffer, individualmente desenvolveram seus estudos acerca do tema. A contribuição dos três gerou uma teoria que prometia trazer a explicação para a supercondutividade em metais e que, posteriormente passou a ser identificada como a *teoria BCS*.

Segundo a teoria de Bardeen, Cooper e Schrieffer, elétrons em movimento numa rede cristalina interagem com seus íons provocando ondulações na mesma, conhecidas como *fônons* (figura 1). Quando a vibração térmica é suficientemente pequena, os fônons tornam-se evidentes e são “percebidos” por outros elétrons, o que altera seus comportamentos. Por intermédio desses fônons, dois elétrons podem

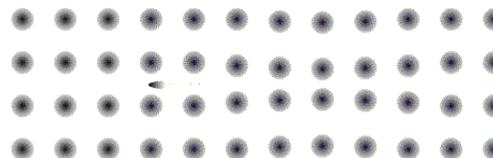


Figura 5 - Ao passar pela rede cristalina, a carga negativa do elétron atrai as cargas positivas dos íons. Eles se deslocam ligeiramente formando uma região de cargas positivas concentradas. Essa ondulação é o fônon e se movimenta perseguindo o elétron.

acabar interagindo atrativamente entre si e formar pares (figura 2). Então, no interior da rede cristalina, sob temperaturas extremamente baixas, parte do conjunto de elétrons livres (elétrons de condução) transforma-se num conjunto de pares, os *pares de Cooper* (por ter sido Leon Cooper trazer essa informação ao grupo, embora, na história da Ciência, não tenha sido ele o

primeiro a defender essa ideia). Cada um desses pares assume uma identidade com propriedades distintas daquelas de um elétron “solitário”.

Uma vez formado, o par de Cooper torna-se um sistema estável. Os pares de Cooper, diferentemente de elétrons individuais, apresentam um comportamento coletivo de união,

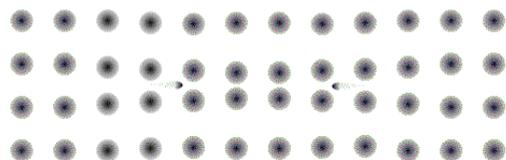


Figura 6 – Dois elétrons que se mantêm unidos pela “atração” mútua, devido à concentração de cargas positivas entre eles.

como se o grupo fosse uma entidade única (figura 3). Quando um par se desloca, todos os

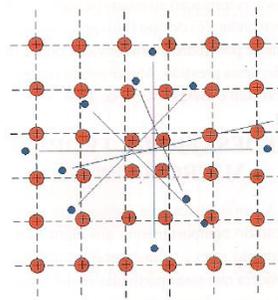
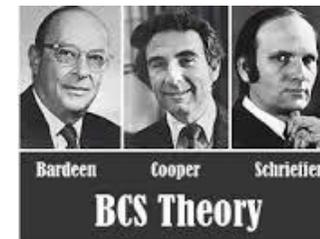


Figura 4 - Vários pares de Cooper “convivem” no mesmo espaço formando um grupo coeso. Revista USP, nº 92, p. 148.

outros deslocam-se juntos. Desse modo não são facilmente abaláveis pelas imperfeições da rede cristalina e pelas vibrações térmicas de seus íons (desde que a temperatura seja igual ou inferior à temperatura crítica). Por este motivo as correntes elétricas podem fluir pelo supercondutor sem enfrentar resistências.

A teoria BCS, desenvolvida em 1957, é bastante complexa em seus detalhes. Mas tem conseguido descrever satisfatoriamente bem o fenômeno da supercondutividade em metais. A teoria prevê o Efeito Meissner, a interferência de campos magnéticos externos sobre o estado supercondutor e outras particularidades desse fenômeno. O sucesso da teoria foi tão grande que o prêmio Nobel de Física de 1972 foi concedido aos seus três autores. Até hoje não surgiu uma teoria melhor. Porém,

possui limitações. Embora ela possa conceitualmente descrever a supercondutividade do tipo II, típica dos novos materiais cerâmicos, das ligas metálicas e outros materiais supercondutores modernos, sua aplicação torna-se muito complexa nesse caso. Assim, para descrever o comportamento dos supercondutores do tipo II usa-se outra abordagem teórica, a qual, no entanto, é fundamentada microscopicamente na teoria BCS. Nos materiais do tipo II há uma fase supercondutora intermediária em que o campo magnético penetra parcialmente no material, produzindo a estrutura de vórtices. A teoria BCS também não é inteiramente satisfatória para explicar a ocorrência da supercondutividade em temperaturas elevadas (entre 90 K e 150 K), como ocorre nos supercondutores do tipo óxidos de cobre, cujo exemplo mais conhecido é o YBaCuO.



As pesquisas científicas avançaram muito ao longo do século XX. Os conhecimentos da Física acerca dos supercondutores cresceu grandemente com a teoria BCS. Mas ainda há muito a ser pesquisado. Entender como a supercondutividade ocorre é essencial para a identificação de novas propriedades desse estado da matéria, novos materiais com essa característica e o domínio do fenômeno para aplicações tecnológicas úteis.

## AULA 8 – APLICAÇÕES DA SUPERCONDUTIVIDADE E DESAFIOS DA ATUALIDADE – Parte 1

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ☞ Trabalhar colaborativamente na busca de novas informações como: as pesquisas atuais sobre a supercondutividade; as dificuldades práticas para aplicações tecnológicas em larga escala do fenômeno no cotidiano da sociedade; alguns projetos curiosos de uso dos supercondutores;
- ☞ Articular saberes;
- ☞ Dar significado às novas informações.

### CONTEÚDO:

Variedades e curiosidades acerca da supercondutividade / O descobrimento de supercondutores de elevadas temperaturas críticas / outros supercondutores dos tipos I e II / cerâmicas supercondutoras / o YBaCuO / aplicações possíveis, ...

### PRÉ-REQUISITOS:

Noções básicas sobre o fenômeno supercondutividade.  
Ter alguma habilidade com editor de texto, navegação eletrônica e internet.

### RECURSOS:

- ✓ Computadores para cada dois alunos;
- ✓ Acesso à internet para todos os computadores, com habilitação a sites de vídeo;
- ✓ Arquivo digital Webquest, disponível em:  
<<[https://dl.dropboxusercontent.com/u/37872523/Supercondutividade\\_arq%20ppt/webquest.ppsx](https://dl.dropboxusercontent.com/u/37872523/Supercondutividade_arq%20ppt/webquest.ppsx)>>

### AVALIAÇÃO:

Será levado em consideração o envolvimento do aluno nas atividades de grupo e de pesquisa.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

<b>MOMENTO</b>	No laboratório de informática (ou ambiente em que seja possível ter acesso a computadores), os alunos, em duplas, serão conduzidos a estudar e seguir as orientações da <i>webquest</i> , que estão divididas em dois momentos. Para esta aula, aprenderão a acessar a <i>webquest</i> e tomar conhecimento de seu conteúdo e organização. Na sequência, serão orientados a realizar as leituras recomendadas, acessando os sítios cujos vínculos estão na <i>webquest</i> . Trata-se de um encaminhamento a um estudo orientado e incentivo à busca do conhecimento. O aluno, desta forma, terá acesso a informações complementares àquelas discutidas em aula que lhe proporcionarão ampliar os conhecimentos sobre a Supercondutividade e ter contato com as pesquisas científicas nesse campo. Nesta atividade, os grupos devem ficar à vontade para explorar o material e socializar com os demais colegas as curiosidades que encontrarem. O professor monitora apenas para que não haja desvio de foco. É provável que o tempo de cinquenta minutos não seja suficiente para as leituras. Neste caso, os alunos podem ser orientados a acessar o material em casa para estudá-lo mais calmamente.
----------------	--

Tempo previsto  
50 min.

# Webquest

## Aplicações da supercondutividade: desafios da atualidade.

Novembro/2014

mdu

Slide 1



- [Introdução](#)
- [Tarefa](#)
- [Processo](#)
- [Recursos](#)
- [Avaliação](#)
- [Conclusão](#)

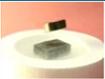
Slide 2

### INTRODUÇÃO

A Supercondutividade é, dos fenômenos físicos, talvez, o mais impressionante e desafiador para o entendimento dos cientistas. Através dele, por exemplo, é possível a levitação passiva que acende uma luz para o desenvolvimento de sistemas mecânicos que se movimentam sem contatos físicos, eliminando desgastes e perdas de energia por atrito. Isto é impressionante!

Vamos, neste estudo, conhecer as principais aplicações da supercondutividade e os desafios que se apresentam na atualidade para o uso pleno deste fenômeno natural.

Bons estudos!



mdu

Slide 3

### TAREFA

Caro aluno:

Você deve desenvolver as atividades que seguem no tempo correspondente a dois períodos de aula de 50 minutos.

Neste primeiro período, deves efetuar atentamente as leituras sugeridas [aqui](#).

Após as leituras, deverás responder as questões constantes [aqui](#).

mdu

Slide 4

### PROCESSO

**Supercondutividade: um círculo de desafios e mistério**  
Este texto, de fácil e agradável leitura, apresenta os principais acontecimentos relacionados à supercondutividade. Dedique-se aos tópicos 1, 2, 3, 6, 7, 8 e 12.

**Supercondutividade de Alta Temperatura e o Prêmio Nobel de 1987**  
Aqui também descobriremos fatos no âmbito da SCD.

**O Misterioso Mundo da Supercondutividade**  
Aqui conta o caminho da pesquisa científica, cheio de altos e baixos.

**Supercondutores: resiste frio para alcançar um recorde**  
Corrida pela mais alta temperatura crítica (e uma fraude!).

**Uma "Supercondutividade"**  
Descoberta de Miller e Soderström na página 10 e o recorde de Tc na página 25.

**Materiais Supercondutores Modernos**  
Na página 81, falado com as principais supercondutividades modernas (2010).

**Lista de documentos, livro (PDF), 2005.**  
Na página 3, dá a referência, lista periódica com elementos supercondutores.

**O fascinante mundo dos materiais supercondutores**  
Sem texto para conhecer aplicações e histórias.

Estas são as fontes de informação para o seu trabalho. Explore-as em sua totalidade!

Para aprofundamento consulte também [aqui](#).

mdu

Slide 5

### RECURSOS

Dr. Supercondutivista e Elio Kozlov  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html)

Supercondutividade: um círculo de desafios e mistério  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item1](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item1)

Supercondutividade de Alta Temperatura e Prêmio Nobel de 1987  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item2](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item2)

O Misterioso Mundo da Supercondutividade  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item3](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item3)

Supercondutores: resiste frio para alcançar um recorde (Fraude!)  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item4](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item4)

Uma "Supercondutividade"  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item5](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item5)

Materiais Supercondutores Modernos  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item6](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item6)

Lista de documentos, livro (PDF), 2005  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item7](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item7)

O fascinante mundo dos materiais supercondutores  
[http://www.fisica.ufsc.br/~elio\\_kozlov/links.html#item8](http://www.fisica.ufsc.br/~elio_kozlov/links.html#item8)

mdu

Slide 6

### AVALIAÇÃO

A avaliação será feita considerando os seguintes critérios:

- Envolvimento e comprometimento com as tarefas propostas.
- Qualidade da produção escrita.
- Capacidade de síntese e assimilação dos conceitos.
- Habilidade comportamental no trabalho em grupo.



mdu

Slide 7

### CONCLUSÃO

*Nesta unidade de estudo você foi levado a conhecer um pouco mais sobre o universo da Supercondutividade, novos materiais, suas aplicações e os desafios para torná-la mais presente em nossa vida contemporânea. Acredito que este estudo deve ter gerado mais interesse em aprofundar seus conhecimentos.*



*A evolução da física e da ciência em geral é um processo contínuo e uma construção humana cheia de desafios que não se esgotam. Convido você, aluno, para buscar outras leituras e pesquisas que vão levá-lo ainda mais longe neste universo do conhecimento.*

mdu

Slide 8

## AULA 9 – APLICAÇÕES DA SUPERCONDUTIVIDADE E DESAFIOS DA ATUALIDADE – Parte 2

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ✎ Localizar e organizar as informações disponíveis;
- ✎ Expressar informações por escrito, conforme questionário de *WebQuest*.

### CONTEÚDO:

Variedades e curiosidades acerca da supercondutividade / O descobrimento de supercondutores de elevadas temperaturas críticas / outros supercondutores dos tipos I e II / cerâmicas supercondutoras / o YBaCuO / outras aplicações.

### PRÉ-REQUISITOS:

Noções básicas sobre o fenômeno supercondutividade.  
Leituras recomendadas via *WebQuest* da aula anterior.  
Habilidade com editor de texto e internet.

### RECURSOS:

- ✓ Computadores para cada dois alunos;
- ✓ Acesso à internet para todos os computadores;
- ✓ Arquivo digital *WebQuest* (com questionário na versão *on line*, elaborado no Google Form).

### AVALIAÇÃO:

Será levado em consideração o envolvimento do aluno nas atividades de grupo, pesquisa e, principalmente, sua produção textual no questionário apresentado via *WebQuest*.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

<b>MOMENTO</b>	No laboratório de informática (ou outro ambiente em que seja possível ter acesso a computadores), os alunos, em duplas (nas mesmas que se formaram na aula anterior), darão continuidade às atividades daquela aula, dedicando-se agora a responder ao questionário eletrônico, elaborado no <i>Google Form</i> , que deve estar acessível via <i>WebQuest</i> , na seção “Tarefas”, em vínculo ativo específico. Orientar a turma para que todas as duplas se esforcem para concluir as tarefa em aula.
Tempo previsto 50 min.	Obs. 1: o professor pode estipular um prazo maior, além da aula como, por exemplo, fixando um dia e hora para que todos consigam realizar a tarefa com sucesso e plenamente. Após esse prazo, o professor pode “fechar” o questionário e a partir desse momento ninguém conseguirá enviar mais respostas.

Questões e respostas de referência para o Questionário.

Obs. 2: Para implementar esta ideia, o professor deve criar seu questionário *on line* dentro da sua conta Google, utilizando a ferramenta *Google Form*. Depois, precisa substituir o vínculo ativo que está

na *WebQuest* pelo vínculo ao seu questionário. Isto é necessário para que o professor receba as respostas e também possa modificar o questionário como desejar.

1) Como se deu a “descoberta” do fenômeno da supercondutividade?

Se deu no laboratório de K. Onnes em 1911, num experimento sobre resistividade elétrica com o mercúrio. Ao ser resfriado a temperaturas extremamente baixas (~4 K), o mercúrio passou a não apresentar mais resistência elétrica.

2) Pesquise outros metais que também apresentam supercondutividade e informe suas temperaturas críticas.

3) Que fato importante na história da supercondutividade ocorreu no início da segunda metade da década de 1980 e que rendeu um prêmio Nobel de Física? Quais foram os ganhadores desse prêmio? Por que sua “descoberta” foi tão marcante para a comunidade científico-tecnológica?

A “descoberta” de supercondutividade em cerâmicas ( $Ba_xLa_{2-x}CuO_{4-\delta}$ ) com temperatura crítica próxima a 35 K, o que corresponde a  $-238\text{ }^\circ\text{C}$ , bem acima dos valores conhecidos até então, desde a “descoberta” da supercondutividade. Essa “descoberta” foi importante porque mostrou ser possível existir supercondutividade em temperaturas maiores do que aquelas conhecidas até então. Seus descobridores foram os físicos da IBM, o suíço Karl Alexander Muller e o alemão Johannes G. Bednorz.

4) O que é YBCO? Quando foi descoberto? O que tem de especial que facilitou as pesquisas em supercondutividade?

YBCO ou  $YBaCuO$  é uma cerâmica supercondutora pesquisada e “descoberta” em 1987 que apresenta temperatura crítica bastante elevada, próxima de 90 K. Foi o primeiro material supercondutor a ser descoberto que possui temperatura crítica acima da temperatura de liquefação do nitrogênio líquido. Sua “descoberta” trouxe ânimo às pesquisas que puderam se tornar mais baratas por não ter que utilizar mais o hélio líquido, difícil de obter e caro.

5) Onde já é usada a supercondutividade em nossa sociedade moderna?

Identifique três aplicações que já estão em prática ou em fase de testes.

- redes de transmissão de energia elétrica.
- na eletrônica, para a obtenção de lâmpadas mais econômicas.
- na medicina, em aparelhos que requerem intensos campos magnéticos.
- no setor de transporte coletivo de passageiros (trens de alta velocidade).

6) Qual um dos principais desafios técnico-científicos para a aplicação prática da supercondutividade?

Selecione a afirmação que realmente justifica as dificuldades enfrentadas.

- Obter supercondutores em quantidades suficientes para atender a demanda que virá.
- Conquistar o interesse e investimento de grandes empresários para implementar novas tecnologias.
- A construção de sistemas eficientes para manter as baixas temperaturas de que os supercondutores necessitam.
- Vencer o desinteresse dos cientistas pesquisadores, uma vez que a supercondutividade é um fenômeno difícil e raro de acontecer.

7) O que pode-se apontar como um dos maiores sonhos dos cientistas que pesquisam a supercondutividade?

8) Identifique os dois itens que os cientistas mais perseguem.

- Desenvolver uma teoria capaz de explicar a supercondutividade em temperaturas elevadas.
- Conseguir construir em laboratório supercondutores do tipo III.

- ( x ) Poder encontrar materiais que se tornem supercondutores em temperatura ambiente ou superior.  
( ) Eliminar a supercondutividade em metais puros.
- 9) Qual é a temperatura crítica mais alta que se tem notícias e a que substância ela corresponde?  
A temperatura crítica mais alta que se tem notícia é de  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $133\text{ K}$ ), observada no composto  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  ou Hg-1223, descoberto em 1993 por A Schilling e colaboradores.
- 10) Após assistir ao vídeo, responda: qual a diferença entre a tecnologia de levitação magnética utilizada no trem chinês TransRapid em Shangai e o trem brasileiro MagLev Cobra no Rio de Janeiro (UFRJ)?  
O trem TransRapid, (e outros maglevs espalhados pela Europa e Ásia) requerem um sistema de sensores que lhe dê orientação e eletroímãs que lhe dê sustentação. O trem brasileiro maglev “Cobra” é o pioneiro no mundo a utilizar a tecnologia dos supercondutores, que dispensa eletroímãs e sensores para guiar e sustentar.
- 11) O efeito Meissner, que se verifica ocorrer em materiais no estado supercondutor, é:  
( x ) a expulsão completa (ou parcial) de campos magnéticos do interior do material supercondutor.  
( ) o fenômeno da levitação magnética que ocorre na presença de campos magnéticos.  
( ) a ação de campos magnéticos externos gerando a destruição do estado supercondutor.  
( ) a existência de duas temperaturas críticas em alguns materiais, o que os torna supercondutores do tipo II.

## AULA 10 – AVALIAÇÃO

### TEMPO PREVISTO:

50 minutos.

### OBJETIVOS:

- ✎ Expressar, pela escrita, conhecimentos que reflitam o que fora visto do tema Supercondutividade ao longo das aulas do módulo.
- ✎ Apresentar respostas para algumas questões selecionadas como relevantes nesse contexto.

### CONTEÚDO:

Resistividade / Supercondutividade / Aplicações / Teoria BCS / YBaCuO / Efeito Meissner / Temperatura Crítica / Gráficos  $\rho \times T$

### PRÉ-REQUISITOS:

Acompanhar com atenção as aulas desse planejamento; participar ativamente das atividades propostas e realizar as leituras recomendadas na atividade *WebQuest*.

### RECURSOS:

- ✓ Uma cópia impressa para cada aluno das questões que constituem a avaliação.

Destaca-se que esta é uma possibilidade de avaliação, mais tradicional, mas podem ser utilizadas outras formas mais colaborativas.

### AVALIAÇÃO:

Será levado em consideração o empenho de cada aluno em apresentar uma resposta coerente com o que fora discutido ao longo das aulas; os termos que o aluno utiliza para se expressar e a precisão da informação que ele elabora.

### PROCEDIMENTO SUGERIDO:

**MOMENTO**

Informar os alunos a forma como responderão às questões (individualmente ou em duplas, ...); esclarecer que as respostas esperadas são associadas ao que apreenderam ao longo das aulas de Supercondutividade. Informar, com clareza, o tempo limite para que devolvam a avaliação respondida para fins de correção.

Tempo previsto  
50 min.

Prof. ...

## Sugestão de Prova sobre o tema da Supercondutividade -

Nome:

N°:

Turma:

Data:

- 1) Cite três fatores que contribuem para a resistividade de um material.

- formato da rede cristalina;  
- impurezas nessa rede;  
- quantidade de elétrons livres no material;  
- agitação térmica da rede.

- 2) Defina o que é supercondutividade.

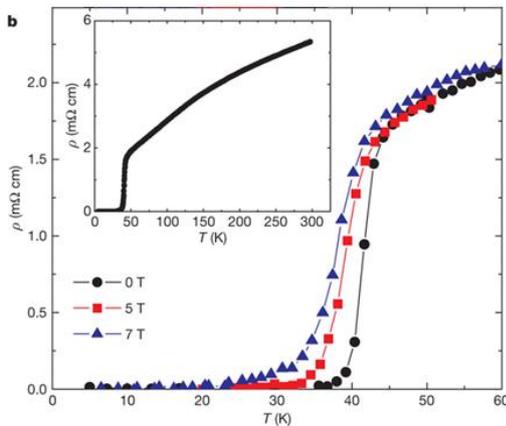
É o desaparecimento total ou quase total da resistividade de um material, o que o torna um condutor de eletricidade praticamente sem resistência elétrica. Isso ocorre quando o material é resfriado a temperaturas muito baixas.

- 3) Além de trens de levitação, que outras aplicações pode-se dar à supercondutividade? (Cite uma, pelo menos)

- 4) Cite uma característica que faz da supercondutividade um fenômeno especial.

Nesse estado, a corrente elétrica não dissipa calor por efeito joule e flui sem resistência elétrica.

- 5) Repare com atenção no gráfico abaixo. As três curvas representam medidas para um mesmo material.



- a) Esse material apresenta supercondutividade? (O que evidencia isso?).

Sim, apresenta supercondutividade. Nota-se pelo gráfico que a resistividade cai a zero em temperaturas acima do zero absoluto.

- b) A legenda permite identificar sob que condição cada conjunto de medidas foi realizada. Identifique essas condições e descreva que implicação elas tiveram para a temperatura crítica do material.

As medidas foram tomadas com a amostra submetida a campo magnético de diferentes intensidades. Nota-se que quanto mais intenso o campo aplicado, menor fica a temperatura crítica do material.

- 6) Um dos grandes desafios da ciência moderna é conseguir descrever e explicar com bom grau de detalhes como ocorre a supercondutividade. Atualmente, a teoria que mais se destaca só é eficiente para os casos de baixa temperatura crítica.

- a) Qual é o nome dessa teoria?

Teoria BCS.

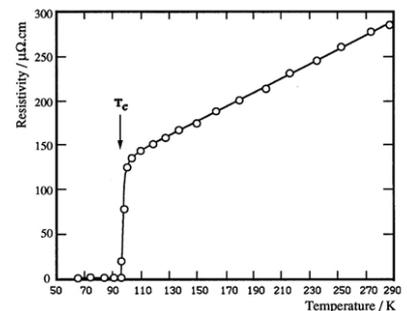
- b) Qual é a ideia central dessa teoria para o estado supercondutor?

É a formação de pares de elétrons (pares de Cooper) que passam a se mover em grupo coeso pelo material, não sofrendo perturbações da rede cristalina.

- 7) Risque completamente a palavra ou expressão entre parênteses que torna falsa cada frase do texto abaixo, de modo que, no final, o texto todo fique correto.

Todo material supercondutor assume essa condição em temperaturas (~~acima~~/abaixo) de um certo valor limite, característico de cada um. Atualmente há (~~apenas~~/mais de) um tipo de supercondutor. O material supercondutor (~~comporta-se como~~/difere de) um condutor perfeito. Uma (~~semelhança~~/diferença) entre eles é que (no primeiro/~~nos dois~~ / no segundo) ocorre o efeito Meissner. Este efeito é responsável pela levitação magnética de um ímã sobre um supercondutor ou vice-versa. O curioso é que campos magnéticos intensos agindo sobre um supercondutor (~~podem/não podem~~) enfraquecer, ou mesmo destruir a supercondutividade, ainda que em temperaturas próximas do zero absoluto.

- 8) O gráfico abaixo é associado à substância YBCO ou YBaCuO.



Assinale verdadeiro ou falso.

- (F) YBCO é um metal supercondutor de baixa temperatura crítica.  
(F) YBCO é uma cerâmica supercondutora com  $T_c \approx 35$  K.  
(F) YBaCuO é importante pois é supercondutora em temperatura ambiente.  
(V) YBCO foi a primeira cerâmica supercondutora "descoberta" com  $T_c$  acima da temperatura do nitrogênio líquido.  
(V) A "descoberta" dessa cerâmica representou um grande avanço na área da supercondutividade.  
(F) De acordo com o gráfico, essa cerâmica perde sua supercondutividade acima de  $\sim 94$  °C.  
(V) A supercondutividade não ocorre apenas com materiais bons condutores elétricos, mas também com materiais normalmente isolantes.

- 9) Numa de nossas aulas pudemos ver um vídeo onde um supercondutor flutuava sobre um caminho magnético circular (trilha de ímãs) e se movia sobre essa trilha sem nenhum contato com nada.



Explica como entendes que esse fenômeno aconteceu. O que faz a peça andar em círculo sobre a trilha ao invés de andar reto, por exemplo? Como explicas que a peça não se gruda nos ímãs ou não é jogada para longe, mas permanece flutuando, movendo-se presa ao seu caminho? (Atrás desta folha)

## REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. P. *WebQuest um recurso dinâmico otimizando o trabalho do professor: relato de experiências deste recurso usado em aulas com alunos do ensino fundamental e médio*. Disponível em: <http://meuartigo.brasilecola.com/educacao/webquest-um-recurso-dinamico-otimizando-trabalho-professor-.htm>. Acesso em 03/06/2014.

ARAÚJO-MOREIRA, F. M.; LANFREDI, A. J. C.; CARDOSO, C. A. MALUF, W. *O Fascinante Mundo dos Materiais Supercondutores*. Departamento de Física. Universidade Federal de São Carlos/SP, 2002. Disponível em: [http://www.univerciencia.ufscar.br/n\\_2\\_a1/super.pdf](http://www.univerciencia.ufscar.br/n_2_a1/super.pdf). Acesso em 13/07/2014.

BASSALO, J. M. F. Supercondutividade de Alta Temperatura e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 1987. *Curiosidades da Física*. Disponível em: <http://www.seara.ufc.br/folclore/folclore256.htm>. Acesso em 10/08/2014.

BRANÍCIO, P. S. Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a mini-revolução provocada pela “redescoberta”  $MgB_2$ : Uma Abordagem Didática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, n. 4, 2001, 381.

CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A.; GRINGS, E. T. de O. Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações, à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. 1, 2008. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/download/221/213>. Acesso em 12/06/2014.

CARVALHO JR. G. D.; AGUIAR JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.25, n.2, p.207-227, 2008.

CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. *Roteiro para Construção de um Planejamento de uma Unidade Didática*. Teorias de Aprendizagem no Ensino de Física. Instituto de Física – UFRGS, 2010.

CHAMPANGNATTE, D. M. O.; NUNES, L. C. A inserção das mídias audiovisuais no contexto escolar. *Educação em Revista*. vol. 27 nº 3, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-46982011000300002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-46982011000300002). Acesso em 03/06/2014.

COSTA, M. B. S. *Aplicações da Supercondutividade – Computador Quântico*. Blog Divulgando a Supercondutividade. Disponível em: <http://supercondutividade.blogspot.com.br/2012/12/textos-em-portugues.html>. Acesso em 15/09/2014.

COSTA, M. B. S.; PAVÃO, C. Supercondutividade: um século de desafios e superação. *Revista Brasileira de Ensino Física*, v. 34, nº 2, São Paulo, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172012000200017&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172012000200017&lng=pt&nrm=iso&tlng=en). Acesso em 07/08/2014.

DODGE, B. In: MASCARENHAS (2005). *Educação sem internet? Só no monastério*. Disponível em: <http://www.educacao.sp.gov.br/noticias/educacao-sem-internet-so-no-monasterio>. Acesso em 10/08/2014.

FARIAS, T.; NECKEL, L. *Supercondutividade e Efeito Meissner*. Disponível em: [http://men5185.ced.ufsc.br//trabalhos/64\\_efeito\\_meissner/index.html](http://men5185.ced.ufsc.br//trabalhos/64_efeito_meissner/index.html). Acesso em 01/07/2014.

HEYMANN, G.; VENTUROLI, T. Supercondutores, receita francesa para alcançar um recorde. *Revista Superinteressante*. Editora Abril, 1994. Disponível em: <http://super.abril.com.br/ciencia/supercondutores-receita-francesa-para-alcancar-um-recorde>. Acesso em 13/09/2014.

*Lei de Lens*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc](http://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc). Acesso em 12/10/2014.

LOCH, J.; GARCIA, N. M. D. Física Moderna e Contemporânea na Sala de Aula do Ensino Médio. *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/1335.pdf>. Acesso em 12/06/2014.

Los motores del futuro. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=3zllrRklvrY](http://www.youtube.com/watch?v=3zllrRklvrY). Acesso em 20/10/2014.

LUIZ, A. M.; SANTOS, W. M. S. A Supercondutividade e suas Aplicações: Um tema para Aulas de Física no Ensino Médio. *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física* (2005). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0454-1.pdf>. Acesso em 22/07/2014.

MACHADO, A. J. S.; SANTOS, C. A. M. Materiais Supercondutores Modernos. *Revista USP*, nº 92, 2012. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/viewFile/34922/37658>. Acesso em 12/09/2014.

*Magnetic Levitation*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms](http://www.youtube.com/watch?v=nWTSzBWEsms). Acesso em 08/10/2014.

MARITINEZ, L. G. *Estudo da Estrutura Cristalina do Composto Supercondutor  $Hg_{1-x}Re_xBa_2Ca_2Cu_3O_{8+8}$  - Hg,Re -1223*. Tese de Doutorado, IPEN/USP, 2005. Disponível em: [http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Luis%20Gallego%20Martinez\\_D.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Luis%20Gallego%20Martinez_D.pdf). Acesso em 12/09/2014.

MASSONI, N. T. Laboratório de supercondutividade e magnetismo: Um enfoque epistemológico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.26 n.2, p.237-272, 2009.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n.1, mar. 2002.

NETO, P. P.; OSTERMANN, F. *Supercondutividade*. Editora Livraria da Física, 2005. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=nsCC\\_MUa0HwC&pg=PA25&lpg=PA25&dq=a+quem+pertence+a+temperatura+cr%C3%ADtica+de+133+K%3F&source=bl&ots=JDkGXHeMe-&sig=sHnYnbk0HcCdWOTS-1Y-fmo1V1M&hl=pt-BR&sa=X&ei=WFBvVOPPCujNgS5g\\_gJ#v=onepage&q=a%20quem%20pertence%20a%20temperatura%20cr%C3%ADtica%20de%20133%20K%3F&f=false](https://books.google.com.br/books?id=nsCC_MUa0HwC&pg=PA25&lpg=PA25&dq=a+quem+pertence+a+temperatura+cr%C3%ADtica+de+133+K%3F&source=bl&ots=JDkGXHeMe-&sig=sHnYnbk0HcCdWOTS-1Y-fmo1V1M&hl=pt-BR&sa=X&ei=WFBvVOPPCujNgS5g_gJ#v=onepage&q=a%20quem%20pertence%20a%20temperatura%20cr%C3%ADtica%20de%20133%20K%3F&f=false). Acesso em 10/06/2014.

*O grafite que foge do ímã*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o](http://www.youtube.com/watch?v=2zBTws0pJ3o). Acesso em 11/10/2014.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29 no. 3, São Paulo, 2007.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. O. *Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998a.

ROCHA F. S.; FRAQUELLI H. A. Roteiro para a experiência de levitação de um ímã repelido por um supercondutor no Ensino de Física. *Revista brasileira de Ensino de Física*, v.26, n.1, p.11-18, 2004. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-1117200400010000](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-1117200400010000). Acesso em 27/07/2014.

SANTOS, C. A. O Misterioso Mundo da Supercondutividade. *Instituto Ciência Hoje*. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/do-laboratorio-para-a-fabrica/o-misterioso-mundo-da-supercondutividade>. Acesso em 13/09/2014.

SANTOS, R.; SANTOS, E. O. A WebQuest interativa como dispositivo de pesquisa: possibilidades da interface livro no Moodle. *Educacao, Formacao & Tecnologias*, v. 7, p. 30-46, 2014. Disponível em: <http://eft.educom.pt/index.php/eft/article/view/412>. Acesso em 03/06/2015.

*Shanghai Transrapid*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/v/XGR-md9328Q](http://www.youtube.com/v/XGR-md9328Q). Acesso em 20/10/2014.

SIQUEIRA, M. R. P. *Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea*. Biblioteca Digital USP. Teses e Dissertações. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-04102012-133540/pt-br.php>. Acesso em 15/08/2015.

SOUZA, D. F. *Supercondutividade, um estudo sobre os seus 100 anos. Elementos para sua Divulgação Científica*. Dissertação de Mestrado, Manaus, 2012. Disponível em: <http://www.ppgfis.ufam.edu.br/Dissertacao/Daniel%20Souza>. Acesso em 12/09/2014.

*Super Levitação – supercondutor*. Vídeo disponível em: [www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZE](http://www.youtube.com/watch?v=p3drZELYZE). Acesso em 08/10/2014.

*Trem que desliza como cobra entra em testes em 2014.* Vídeo-reportagem disponível em:  
<https://www.youtube.com/watch?v=0SL2Fq0cyT8>. Acesso em 31/10/2014.

*Tubo Antigravidade.* Vídeo disponível no canal “Manual do Mundo”: [www.youtube.com/watch?v=p1oV6sVpo4](http://www.youtube.com/watch?v=p1oV6sVpo4). Acesso em 11/10/2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Instituto de Física. *Projeto Supercondutividade.* Disponível em:  
[http://www.if.ufrgs.br/ensfis\\_fernanda/arquivos/materiais/supercondutividade/](http://www.if.ufrgs.br/ensfis_fernanda/arquivos/materiais/supercondutividade/). Acesso em 13/07/2014.

VIEIRA, D.M. Supercondutividade: uma proposta de inserção no Ensino Médio. Disponível em:  
[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_8057\\_David%20Menegassi-V2.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8057_David%20Menegassi-V2.pdf). Acesso em 20/08/2014.

## ANEXO A – Autorização para a prática das aulas



COLÉGIO ESTADUAL SÃO LUIZ GONZAGA  
PORT. DE UNIF. Nº 80 DE 09/02/90 D.O. 21/03/90  
PORT. ALT. DESIG. Nº 128 DE 05/05/00 D.O. 08/05/00  
AV. OSVALDO ARANHA, 633 - VERANÓPOLIS - RS  
95 330 000 - FONE/FAX (54) 3441 1058

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL  
SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO  
**COLÉGIO ESTADUAL SÃO LUIZ GONZAGA**  
Portaria de Unificação nº 80, de 09.02.1990 – Diário Oficial de 21.03.1990  
Portaria de Alteração de Designação nº 128, de 05.05.2000 – Diário Oficial de 08.05.2000  
Avenida Osvaldo Aranha, 633 – Fone/Fax: (54) 3441.1058 – CEP 95330-000 – Veranópolis – RS

### AUTORIZAÇÃO

A Direção do Colégio Estadual São Luiz Gonzaga, estabelecido na Avenida Osvaldo Aranha, nº 633, Bairro Centro, na cidade de Veranópolis – RS, através de sua Diretora ao final assinada, em atenção ao Ofício datado de 01 de novembro de 2014, endereçado a esta Instituição de Ensino, apresentando o Professor **FLAVIO FESTA** para a prática das aulas teóricas na Disciplina de Física em decorrência do Curso de Mestrado que está cursando junto ao **Instituto de Físicas da UFRGS**, **AUTORIZA** para que o docente aplique seu trabalho nas turmas do terceiro ano do Ensino Médio, desta Escola, no decorrer das 04 (quatro) semanas do mês de Novembro corrente.

Veranópolis – RS, 03 de novembro de 2014.

Andrea Carnevalli ID 244365  
Diretora

**Andréa Carnevalli**  
Diretora