

# A SUPERCONDUTIVIDADE NO ENSINO DE FÍSICA FUNDAMENTADA NA EPISTEMOLOGIA CONTEMPORÂNEA

**Carla Beatriz Spohr** [carla@fahor.com.br]

*Faculdade Horizontina – FAHOR – Caixa Postal, 07  
Rua Buricá, 725, 98920-000, Horizontina, RS – Brasil*

**Fernanda Ostermann** [fernanda.ostermann@ufrgs.br]

**Paulo Pureur** [ppureur@if.ufrgs.br]

*Instituto de Física – UFRGS – Caixa Postal, 15051.  
Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil*

## Resumo

No presente artigo, pretendemos apresentar e discutir um material didático, em forma de página na internet, concebido e desenvolvido para ser utilizado como principal recurso pedagógico para o estudo do tema da supercondutividade por alunos do terceiro ano do ensino médio de Física. No material, abordamos os aspectos históricos da descoberta do fenômeno da supercondutividade, os Prêmios Nobel relacionados ao fenômeno, tópicos da teoria dirigida a professores e um módulo desenvolvido especialmente para alunos do ensino médio. Para o desenvolvimento do módulo dirigido ao ensino médio, enfatizamos apenas os aspectos teóricos envolvidos nessa teoria. A página serviu para mediar a interação entre colegas de classe, sob orientação da professora, sendo utilizada como principal recurso didático. Na concepção da página procuramos enfatizar convergências entre as epistemologias de Popper (1993), Kuhn (1978), Lakatos (1989) e Laudan (1977): a oposição ao empirismo-indutivismo. Durante a implementação do projeto, os alunos trabalharam em duplas, pois, de acordo com a teoria sócio-cognitivista de Vygotsky, a aprendizagem ocorre a partir da interação social. Para verificar a aprendizagem significativa dos alunos, inicialmente, identificamos o conhecimento prévio da turma sobre o tema proposto, através de um questionário inicial. Ao final das aulas, procuramos evidências de aprendizagem com a aplicação de um questionário final.

**Palavras-chave:** ensino de Física, supercondutividade, epistemologia

## 1. Introdução

O presente artigo faz parte de um projeto de dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (UFRGS). A execução de tal projeto justifica-se pela percepção que temos em relação à pobreza e semelhança dos currículos de Física nas escolas brasileiras, que se refletem na divisão em blocos tradicionais: mecânica, física térmica, ondas, óptica e eletromagnetismo, que seguem, basicamente, a seqüência dos capítulos nos livros didáticos e, dessa forma, toda a Física desenvolvida no século XX em diante está excluída desse contexto. Na prática, é comum que a Física se reduza apenas à cinemática (quase toda 1ª série do ensino médio é dedicada a ela), leis de Newton, termologia, óptica geométrica, eletricidade (basicamente direcionada ao estudo dos circuitos simples de corrente contínua).

O movimento de inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) intensificou-se aqui no Brasil a partir da década de noventa, porém ainda é reduzido o número de publicações que encaram a problemática e se propõe a atualizar os currículos existentes. A própria legislação brasileira (LDB)<sup>1</sup> prevê uma renovação curricular, buscando no conhecimento científico recente subsídios para o aluno entender o mundo criado pelo homem atual. Precisamos investir na possibilidade de introduzir tópicos modernos no ensino médio a partir da utilização de materiais

---

<sup>1</sup> Estudos nº 17. Revista da Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior. Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Ano 14. n. 17. Brasília, 20 de dezembro de 1996.

didáticos preparados de uma maneira mais crítica, tendo maior comprometimento com a melhoria do ensino.

Sendo assim, testamos em sala de aula a introdução de um tema de FMC, verificando, na prática, seus sucessos e fracassos.

O tema escolhido foi o da supercondutividade, pois apresenta vários atrativos que justificam sua escolha como tópico a ser ensinado no nível médio, dos quais destacamos que:

- é fundamental que os alunos aprendam os conhecimentos científicos no contexto de seu desenvolvimento histórico e que os utilizem no exercício pleno de sua cidadania;
- o fenômeno da supercondutividade está relacionado à impressionante revolução tecnológica que presenciamos neste início de século, ilustrando, portanto, uma série de aplicações potencialmente motivadoras para os alunos (como exemplo podemos citar: o funcionamento do trem Maglev, os SQUIDS – usados em equipamentos para diagnóstico médico, entre outros);
- uma atividade demonstrativa pode ser facilmente realizada: a demonstração da levitação magnética, com o uso de equipamentos relativamente simples (uma pastilha de supercondutor de alta temperatura crítica, um pequeno ímã e um pouco de nitrogênio líquido) (Rocha & Fraquelli, 2004);
- a supercondutividade insere-se, naturalmente, no tema estruturador “Matéria e Radiação” existente nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) – (MEC-SEMTEC, 2002)<sup>2</sup>, nas quais é contemplada a necessidade de proporcionarmos aos estudantes uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria e os diferentes modelos de explicação;
- o tema envolve áreas da Física Clássica já trabalhadas na escola (por exemplo, Termodinâmica e Eletromagnetismo), dessa forma podendo ser articulado ao currículo escolar com grande facilidade, sendo apresentado a partir de princípios físicos já conhecidos (Ostemann&Ferreira, 2006).

Para introdução do tema, concebemos e desenvolvemos um material didático (página disponível na internet) sobre a supercondutividade, servindo de material de apoio para a inserção do tema em turmas do terceiro ano de Física. O material desenvolvido foi usado como principal recurso pedagógico para o estudo do tema proposto. No material, abordamos os aspectos históricos da descoberta do fenômeno, os Prêmios Nobel relacionados à supercondutividade através de uma linha do tempo; oferecemos um tópico das teorias da supercondutividade dirigido a professores e um módulo desenvolvido especialmente para alunos do ensino médio. Está disponível uma filmagem da levitação magnética realizada no laboratório de supercondutividade e magnetismo da UFRGS, pois sabemos que em muitas escolas não será possível a realização dessa atividade prática, embora seja de simples fabricação. O objetivo principal do presente relato é apresentar a página desenvolvida.

Procuramos enfatizar uma abordagem conceitual sobre o tema para que o aluno desse nível de ensino não esbarrasse em dificuldades matemáticas, o que faz com que a Física, frequentemente, seja inacessível a grande parte dos alunos. Inicialmente identificamos o conhecimento prévio dos alunos sobre a supercondutividade através de um questionário inicial e, a partir disso, com a interação entre colegas de classe e sob orientação da professora, pudessem evoluir conceitualmente. A página desenvolvida serviu para mediar essa interação no sentido de facilitar a aprendizagem significativa, verificada através da aplicação de um questionário final, entrevistas e observação-participante da professora.

Cabe assinalar que, no desenvolvimento e execução da página, enfatizamos a principal convergência entre a epistemologia de Popper, Kuhn, Lakatos e Laudan: a oposição ao empirismo-

---

<sup>2</sup> Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), MEC-SEMTEC, 2002.

indutivismo. Para introduzir os conceitos de modelo de metal e corrente elétrica, por exemplo, expomos os modelos teóricos atuais, sem partir da observação, como está previsto no primeiro passo do método científico. Os outros tópicos também foram desenvolvidos através de analogias, exemplos, fatos históricos, sem que fosse necessária a observação dos fenômenos envolvidos. Durante a implementação do projeto os alunos trabalharam em duplas, pois, de acordo com Vygotsky (1984), a aprendizagem ocorre, dentre outras formas, através da interação social.

O desenvolvimento dessa página<sup>3</sup> foi realizado com o software Flash que é amplamente utilizado em ambientes interativos próprios para fins educativos.

## **2. Fundamentação Teórica**

No presente trabalho, utilizamos as idéias de filósofos da ciência contemporâneos para uma fundamentação epistemológica consistente, coerente e ao mesmo tempo atual, por entendermos que em toda ciência da natureza, a exemplo da Física, o processo investigativo é imprescindível e por isso, torna-se fundamental que o professor aproprie-se da epistemologia para poder problematizar visões ingênuas sobre a natureza da ciência.

Destacamos as epistemologias de Popper (1993), Kuhn (1978), Lakatos (1989) e Laudan (1977), tendo em vista sua relevância no ensino de Física, enfatizando a principal convergência existente entre suas visões – a oposição ao empirismo-indutivismo. Nesse sentido, o ensino de um tema, como, por exemplo, o da supercondutividade deverá problematizar visões ingênuas sobre a natureza da ciência, tais como a crença na observação livre de pressupostos teóricos, na concepção de método científico, na possibilidade de se obter conhecimento por indução, entre outras concepções. Para isso evitamos deliberadamente o uso de palavras como: descoberta, acaso, entre outras, consideradas “deslizes epistemológicos”, encontradas com muita frequência em livros didáticos.

Percebemos a necessidade de aplicar um referencial adequado para uma maior compreensão do processo ensino-aprendizagem envolvido no presente projeto. Justifica-se a escolha de Vygotsky no âmbito do projeto pela hipótese de que a aprendizagem ocorre através da interação social.

A ênfase de Vygotsky está na importância da interação social na aprendizagem. Um estudante aprende com maior eficiência através da interação entre seus colegas e professores, pois isso permite uma evolução da zona de desenvolvimento proximal. Nessas condições o estudante pode optar por encontrar resultado sozinho ou com ajuda externa (Moreira e Ostermann, 1999). Na ótica vygotskiana, o sujeito se relaciona com o mundo através dos outros e por esse motivo sua teoria, muitas vezes, é dita interacionista. Através da mediação é que os processos psicológicos superiores são desenvolvidos (Vygotsky, 1984).

## **3. Descrição do trabalho desenvolvido**

A implementação do projeto foi realizada no Colégio Frederico Jorge Logemann situado em Horizontina (região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul), com alunos do 3º ano do ensino médio, no segundo semestre de 2006. O Colégio faz parte da Rede Sinodal de Educação e na estrutura física do mesmo estão instaladas a estrutura administrativa da Faculdade Horizontina – FAHOR, uma faculdade especializada em agronegócio.

O número de horas inicialmente previstas para a aplicação do projeto foi de vinte horas-aula (na prática foram utilizadas apenas 16 horas-aula). O tema da supercondutividade foi inserido ao conteúdo de Física Moderna, já presente no currículo desta série. Em séries cujo currículo não

---

<sup>3</sup> O desenvolvimento da página também faz parte de um projeto maior que, entre outras coisas, visa divulgar materiais didáticos sobre supercondutividade na internet. Tal projeto conta com suporte técnico em informática e se insere no PRONEX do Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo do IF – UFRGS (coordenação: Prof. Dr. Paulo Pureur).

contempla o conteúdo de Física Moderna, a supercondutividade pode ser inserida de maneira articulada no conteúdo de Termologia, bem como no conteúdo de Eletromagnetismo.

Os conceitos abordados para o estudo do tema proposto foram os seguintes:

1. Um modelo de metal
2. Corrente elétrica
3. Resistividade elétrica
4. Supercondutor x Condutor perfeito
5. Materiais Supercondutores
6. Indução Magnética
7. Propriedades do estado supercondutor

Resistividade nula

Efeito Meissner

Levitação magnética

8. Transição do estado normal para o estado supercondutor como uma mudança de estado físico
9. Teoria BCS - Analogias
  - 9.1. Resistividade nula e pares de Cooper
  - 9.2. Efeito Colchão
10. Aplicações

Como já mencionado, a página desenvolvida na internet foi usada como principal recurso pedagógico para o estudo do tema proposto. Os alunos trabalharam em duplas, sendo que cada dupla teve à sua disposição um computador, no horário de aula.

Para demonstrar uma das aplicações do fenômeno da supercondutividade realizamos o experimento de levitação magnética, ou seja, da levitação de um ímã repelido por uma amostra de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . Embora Rocha e Fraquelli (2004) apresentem um roteiro relativamente simples para confecção do YBACO, a obtenção do material que compõe a cerâmica é de difícil acesso. Portanto, disponibilizamos na página um filme demonstrativo da levitação do ímã sobre uma amostra supercondutora.

A abordagem epistemológica contemporânea guiou a introdução dos conceitos de modelo de metal e corrente elétrica, por exemplo, ao expormos os modelos teóricos atuais, sem partir da observação, como está previsto no primeiro passo do método científico. Deixamos claro para o aluno que o cientista inicia suas investigações tendo claro seus objetivos, ou seja, sabe exatamente o que deve ser observado. Portanto, se algo saiu de forma inesperada, serão feitas várias investigações a respeito do novo comportamento, desmistificando a idéia de que a evolução do conhecimento científico acontece “por acaso”. Os outros tópicos também serão desenvolvidos através de analogias, exemplos, fatos históricos sem que haja uma suposta observação neutra dos fenômenos envolvidos.

A avaliação utilizada no desenvolvimento deste projeto foi basicamente qualitativa. Inicialmente aplicamos um questionário com questões abertas para fazer um diagnóstico do nível de familiaridade que os alunos tinham acerca do tema. Após o levantamento das respostas obtidas nos questionários, estruturamos as aulas usando como material central a página desenvolvida e disponível na *internet*. Finalizando o processo de avaliação, aplicamos um teste final, contendo questões com o objetivo exclusivo de avaliar a aprendizagem do aluno, também sendo aferida através de participação em aula, questionário de atitudes e entrevistas.

A página sobre supercondutividade estará disponível na *Internet* bem como em CD-Rom, após a conclusão deste projeto. A figura 1 mostra o *layout* da página inicial do material desenvolvido. A apresentação dessa página é o objetivo central do presente trabalho, já que as experiências em sala de aula estão sendo ainda analisadas.

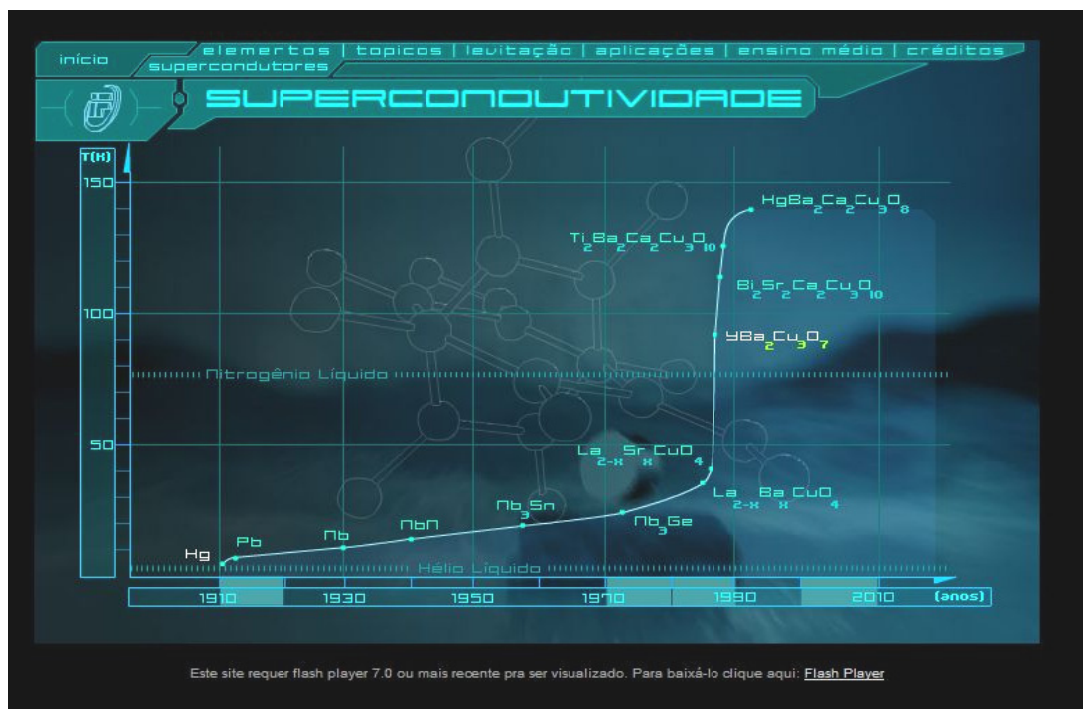


Figura 1. Página inicial do material construído para o ensino do tema da supercondutividade.

Optamos por introduzir o assunto com uma breve revisão da eletrodinâmica para que o aluno pudesse entender o fenômeno da supercondutividade sem “esbarrar” em conceitos já estudados nesse nível de ensino. Levamos ao aluno a idéia de que “modelo físico” é um exemplar que copiamos, imitamos, ou seja, a imagem daquilo que pretendemos reproduzir a partir de algumas hipóteses sobre o comportamento de um sistema físico no âmbito de uma teoria científica aceitável. A partir desse conceito já conseguimos dar ao aluno a idéia de que a evolução do conhecimento científico não ocorre sem que alguma teoria esteja envolvida (Silveira e Ostermann, 2002).

Revisamos o conceito de corrente elétrica, definindo a velocidade de arraste lançando mão de algumas analogias com situações vivenciadas pelo aluno: comparamos os elétrons livres existentes nos condutores com inúmeras pessoas que se encontram no interior de um salão de festas no instante em que toca o alarme de incêndio, sendo que no local está disponível apenas uma possível saída. Cada pessoa vai tentar chegar até a saída por caminhos diferentes, passando por obstáculos diferentes – cadeiras, mesas, pessoas (que representam a rede cristalina do condutor e também as impurezas que o mesmo apresenta). Concluimos afirmando que a movimentação das pessoas consiste na “velocidade de arraste”, assim como os elétrons livres possuem uma pequena velocidade de deriva na direção do campo elétrico, dando origem a um movimento em uma direção preferencial e a esse movimento de elétrons em uma direção preferencial chamamos de “corrente elétrica”. Possibilitamos uma animação para visualização do movimento desordenado de elétrons quando o condutor não está submetido a uma diferença de potencial, bem como do movimento ordenado de elétrons quando o condutor está submetido a uma diferença de potencial (figura 2).

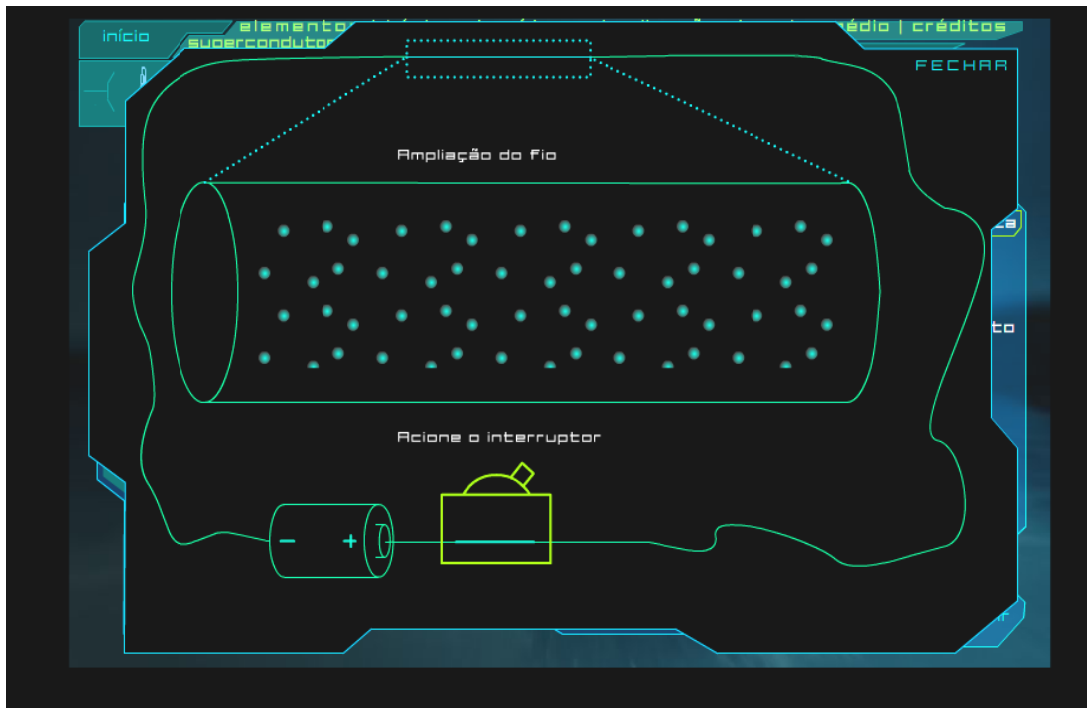


Figura 2. Animação da velocidade de arraste dos elétrons no interior de um condutor metálico quando submetido a uma diferença de potencial elétrico.

Seguimos fazendo um comparativo do comportamento da resistividade dos metais com a variação de temperatura através da análise de gráficos da resistividade em função da temperatura ( $\rho \times T$ ) para condutores reais, perfeitamente puros, bem como para os supercondutores.

Enfatizamos a existência de materiais supercondutores na natureza apresentando a tabela periódica com os elementos supercondutores em destaque. Evidenciamos a formação de elementos supercondutores em forma de compostos intermetálicos e sólidos de cuprato, que nada mais são do que cerâmicas (boas condutoras de eletricidade e sua temperatura crítica é maior do que em outros elementos supercondutores). O YBCO é um dos materiais mais estudados atualmente, pois suas propriedades eletrônicas revelam comportamento singular, ou seja, não encontrado em outros metais convencionais (Ostemann & Pureur, 2005).

Como a turma teve apenas noções elementares de eletromagnetismo, optamos por trabalhar conceitos desse tópico iniciando com a Lei de Faraday-Lenz. Essas teorias foram trabalhadas no laboratório de Física através de atividades práticas dirigidas e posteriormente, no laboratório de informática os alunos puderam ler no hipertexto as aplicações da teoria, detalhes da Lei de Faraday-Lenz e algumas animações dos experimentos vivenciados na prática (Figura 3). Na figura 4 as linhas de campo são visualizadas, facilitando a compreensão do fenômeno.

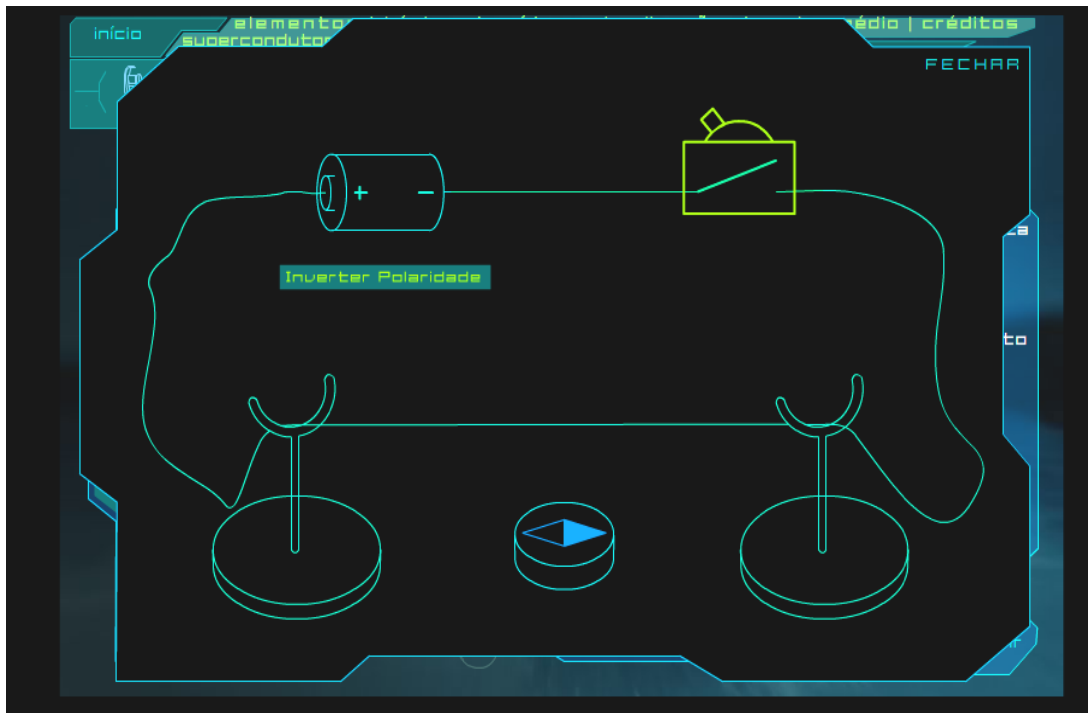


Figura 3. Animação do experimento de Oersted.

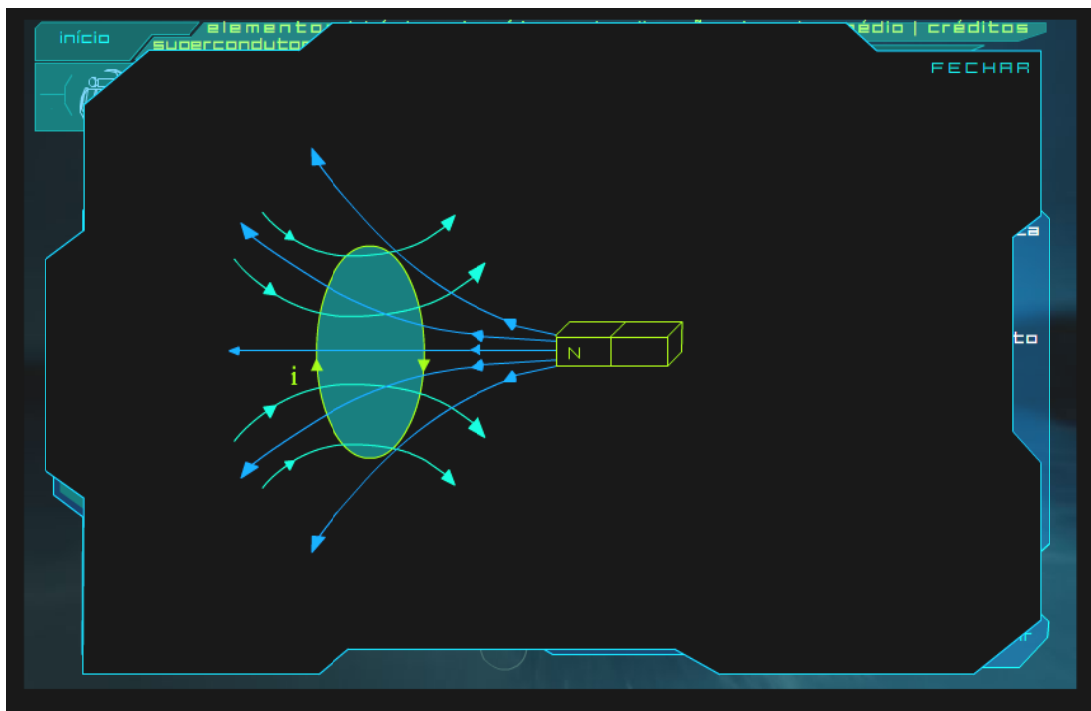


Figura 4. Linhas de campo – Lei de Lenz.

Na seqüência, apresentamos as propriedades dos elementos no estado supercondutor, enfatizando a resistividade nula e o efeito Meissner (Ostermann & Pureur, 2005). Através de uma seqüência de animações orientadas, pode-se concluir que um condutor perfeito obedece à Lei de Faraday-Lenz - resiste somente a variações de campo magnético externo (figura 5), enquanto que um supercondutor apresenta Efeito Meissner - reage à simples presença de um campo magnético externo (figura 6).

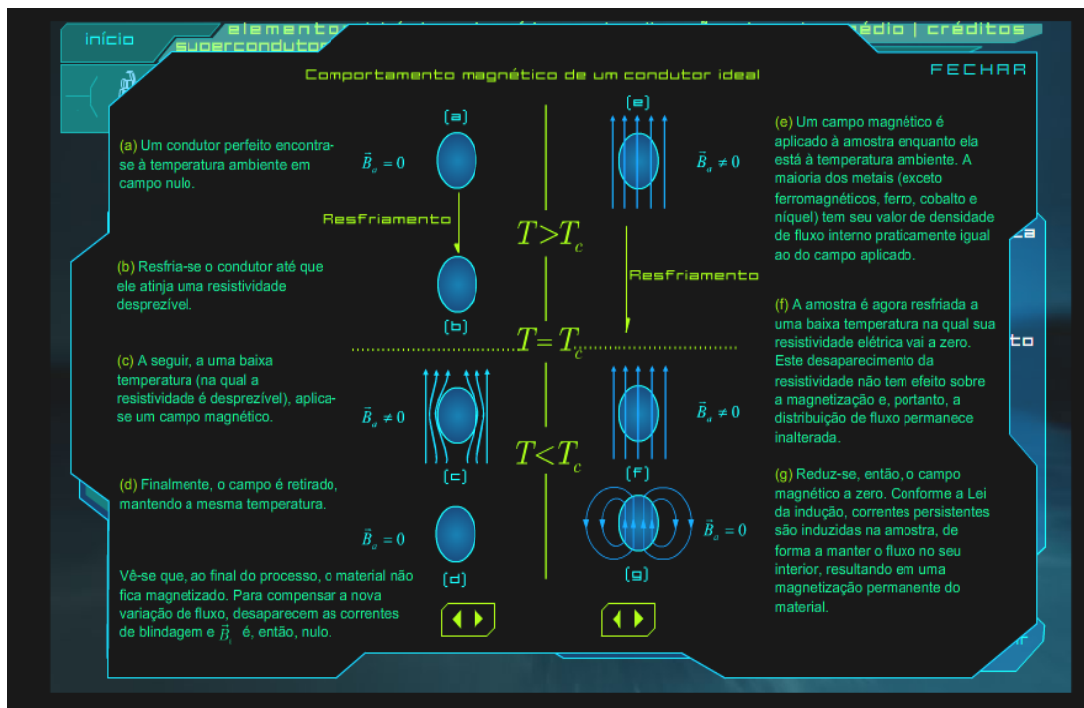


Figura 5. Comportamento magnético de um condutor perfeito.

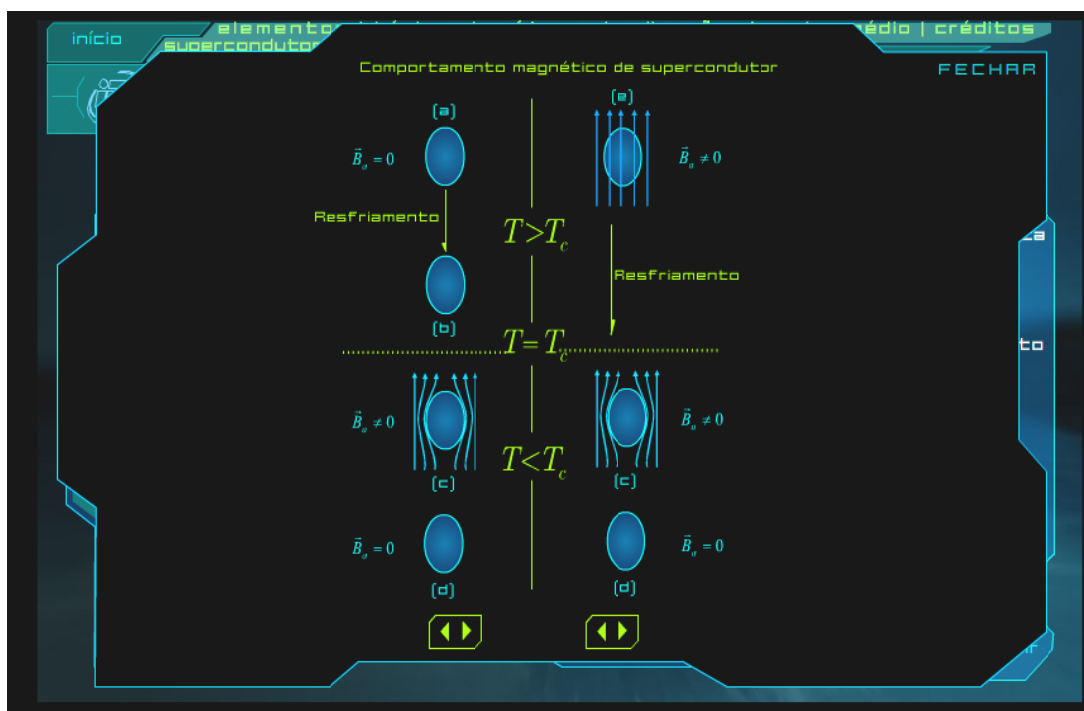


Figura 6. Comportamento magnético de supercondutor.

Demonstramos o fenômeno da levitação magnética no laboratório de Física da escola com o “kit levitação” fornecido pelo laboratório de supercondutividade e magnetismo da UFRGS. Disponibilizamos um vídeo desse fenômeno na página, considerando que grande parte das escolas de ensino médio no Brasil não apresenta condições para a realização da levitação. O fenômeno da levitação pode ser melhor ilustrado através da visualização das linhas de campo magnético que se formam na região do material supercondutor, tanto no seu estado normal quanto no seu estado supercondutor, conforme mostra a figura 7.



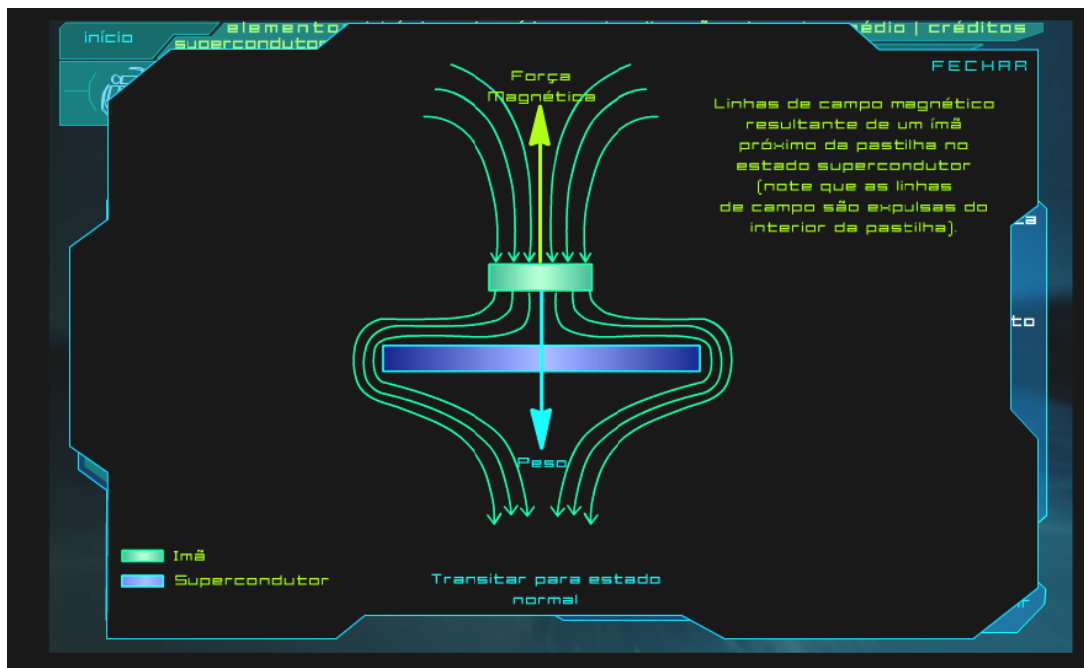


Figura 7. Linhas de campo magnético resultante de um ímã próximo da pastilha no estado supercondutor.

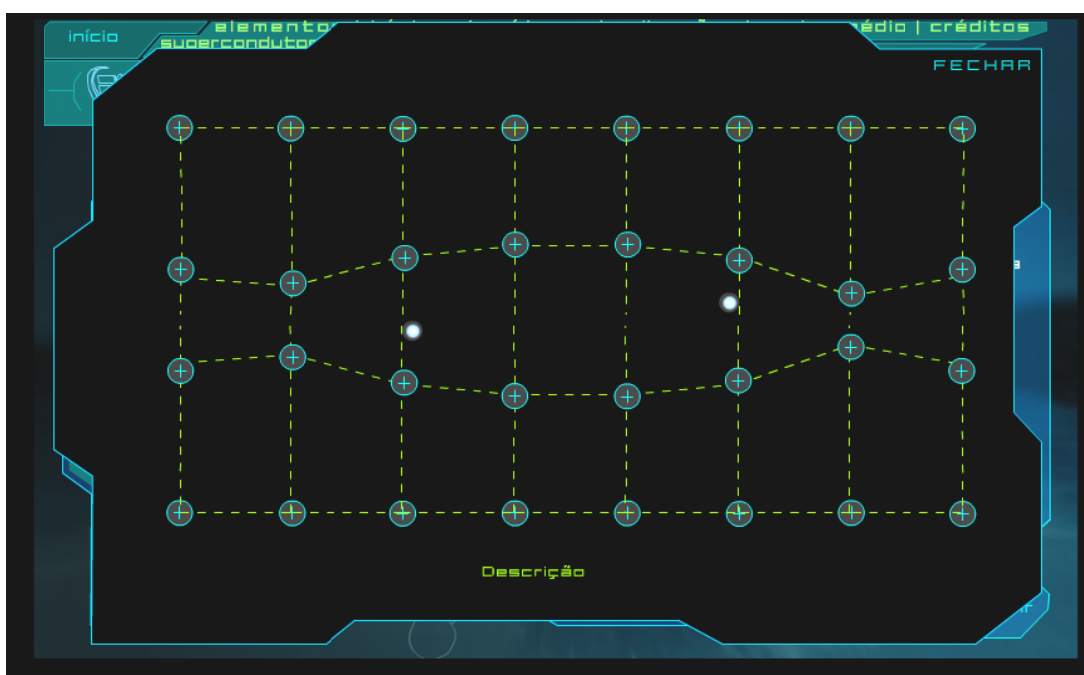


Figura 8. Animação dos pares de Cooper.

Procuramos comparar a passagem do estado normal para o estado supercondutor como uma mudança de estado físico, sendo um processo reversível como tal. Dessa maneira, a supercondutividade pode ser articulada a conteúdos já ensinados nesse nível de ensino.

Para que o aluno pudesse compreender o comportamento molecular de um condutor perfeito e de um supercondutor, comparamos com algumas situações já vivenciadas pelos alunos. Utilizamos a analogia dos dominós, fizemos a animação dos pares de Cooper (figura 8), bem como a analogia do colchão para representar a distorção que ocorre na rede cristalina (figura 9).

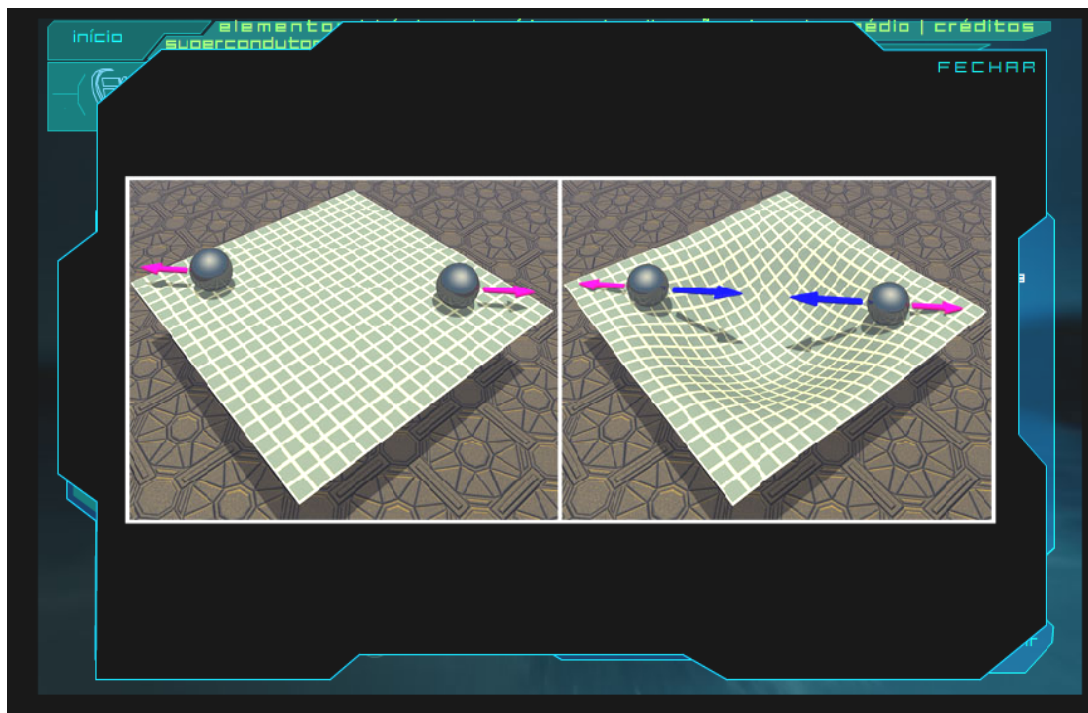


Figura 9: Analogia dos colchões.

#### 4. Considerações Finais

Neste tópico especialmente preparado para o ensino médio procuramos apresentar um tema de Física Moderna e Contemporânea que achamos relevante pelo fato de que o fenômeno da supercondutividade está relacionado à impressionante revolução tecnológica que presenciamos neste início de século, ilustrando, portanto, inúmeras aplicações que nos servem de motivação. Este tópico da Física Moderna nos permite fazer uma atividade demonstrativa do fenômeno da levitação magnética, além de propiciar várias analogias para que se possam abstrair os conceitos fundamentais da supercondutividade a partir de fatos vivenciados no dia-a-dia. Envolvermos de maneira bem articulada vários assuntos já estudados em Física nos anos anteriores (por exemplo, Termodinâmica e Eletromagnetismo) bem como conceitos não abordados nesse nível de ensino (por exemplo, conceitos básicos de Mecânica Quântica e noções de Física do Estado Sólido). Dessa maneira, a partir de princípios físicos já trabalhados apresentamos os conceitos mais avançados, apenas de forma qualitativa e conceitual para que seja propiciada uma compreensão do fenômeno da supercondutividade, que promete revolucionar ainda mais o meio científico.

Tivemos a preocupação de elaborar o material didático “mantendo-o informado e atualizado” a respeito dos fundamentos da epistemologia contemporânea, em particular, para que seja difundida a idéia de que o método científico não se sustenta e que toda observação de um fenômeno está indissociada de pressupostos teóricos.

#### 5. Referências Bibliográficas

KUHN, T.S. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LAKATOS, I. *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1989.

LAUDAN, L. *Progress and its problems*. Berkeley: University of California Press, 1977.

MOREIRA, M. A. OSTERMANN, Fernanda. *Teorias construtivistas*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de Física; n. 10).

OSTERMANN, F. FERREIRA, L. Preparing teachers to discuss superconductivity at high school level: a didactical approach. *Physics Education*, Bristol, v. 41, p.34-41, 2006.

OSTERMANN, F. FERREIRA, L. M. CAVALCANTI, C. J. H. *Supercondutividade: uma proposta de inserção no ensino médio*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1998.

OSTERMANN, F. PUREUR, P. *Supercondutividade*. São Paulo: Editora Livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

POPPER, K.R. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix, 1993.

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, n1, 2004.

SILVEIRA, F. L, OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de descobrir a lei a partir de resultados experimentais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. especial. Florianópolis, 2002.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente – o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo, Martins Fontes, 1984.