



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Mestrado Profissional

Eletromagnetismo no Ensino Médio: Propostas de Atividades usando Tecnologias Digitais

José Mauro de Sousa

Itajubá

2012

APRESENTAÇÃO

Estimado (a) Professor (a),

O presente material constitui o produto educacional fruto da dissertação de mestrado intitulada “Objetos de Aprendizagem e o Ensino de Conceitos de Eletromagnetismo na Educação Básica”, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências – Mestrado Profissional, da Universidade Federal de Itajubá, sob a orientação da Prof^a. Dr^a. Ana Paula dos Santos Malheiros e do Prof. Dr. Newton de Figueiredo Filho.

Nosso objetivo com este produto é contribuir com os professores de Física do Ensino Médio, apresentando-lhes algumas sugestões de atividades baseadas no uso de objetos de aprendizagem (OA) para a abordagem do tema Eletromagnetismo em sala de aula. Tais atividades possuem caráter investigativo e buscam também favorecer a participação maior dos alunos durante as situações de ensino e aprendizagem vivenciadas.

As sequências de atividades aqui apresentadas foram aplicadas em turmas do Ensino Médio e os resultados obtidos são considerados bastante significativos. Os comentários realizados ao longo dos próximos capítulos foram feitos considerando tais aplicações. Para aqueles que desejarem obter maiores detalhes a respeito da pesquisa em que este produto foi utilizado, a dissertação completa pode ser acessada no site do Programa de Pós-Graduação da Unifei¹, anteriormente citado.

Visando facilitar o trabalho do professor que se interessar em desenvolver tais atividades, as fichas relativas às mesmas encontram-se anexas a este produto, prontas para serem impressas e aplicadas. Entretanto, o professor poderá fazer as adaptações que julgar necessárias para a sua utilização².

Esperamos que esse material possa lhe ser útil. Bom trabalho!

José Mauro de Sousa

¹< <http://www.unifei.edu.br/pg/pos-graduacao-inicial?c=100&m=MP>>. Acesso em: 12 nov. 2012

² Esta obra está licenciada sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Não Adaptada. Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	7
1. INVESTIGANDO OS CONCEITOS INICIAIS DO MAGNETISMO COM O OA “LABORATÓRIO DE ELETROMAGNETISMO DE FARADAY”.....	9
O OA utilizado.....	9
Atividades Desenvolvidas.....	10
1.1. Questionamento Inicial	10
1.2. Interações entre Ímãs e Bússolas.....	11
1.3. As Linhas de Campo	15
1.4. A intensidade do Campo Magnético	16
2. ESTUDANDO OS CONCEITOS RELACIONADOS À FORÇA DE LORENTZ A PARTIR DO OA “MOVIMENTO DE CARGAS NUM CAMPO MAGNÉTICO”	18
O OA utilizado.....	18
Atividades Desenvolvidas.....	19
2.1. Lançamentos de uma partícula para acertar o alvo	19
2.2. Deslocamento da partícula fora da região de Campo Magnético.....	20
2.3. Deslocamento da partícula no interior do Campo Magnético.....	21
2.4. Conclusões	22
2.5. Influência da natureza da carga elétrica	23
2.6. Influência do sentido de atuação do Campo Magnético	26
2.7. Influência da velocidade da partícula no raio da trajetória circular	27
2.8. Influência da carga elétrica da partícula no raio da trajetória circular	29
2.9. Influência da intensidade do Campo Magnético no raio da trajetória circular	32
2.10. Influência da massa da partícula no raio da trajetória circular	33
2.11. Questão 1	36
2.12. Questão 2	37
2.13. Exercício 1	38
2.14. Exercício 2.....	40
2.15. Exercício 3a	41
2.16. Exercício 3b.....	42
2.17. Exercício 3c	42

3. NOVAS INVESTIGAÇÕES UTILIZANDO O OA “LABORATÓRIO DE ELETROMAGNETISMO DE FARADAY”	44
O OA utilizado.....	44
Atividades Desenvolvidas.....	45
3.1. Campo magnético gerado por correntes elétricas	45
3.2. Campo magnético gerado por correntes elétricas: conclusões.....	47
3.3. Corrente elétrica induzida	48
3.4. Fatores que determinam a intensidade da corrente elétrica induzida.....	49
3.5. Conclusões	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
SUGESTÕES – LIVROS DIDÁTICOS	57
ANEXOS:.....	58

INTRODUÇÃO

Os estudos a respeito do ensino e da aprendizagem em Ciências na Educação Básica têm revelado que a preocupação quanto às metodologias e às estratégias desenvolvidas em sala de aula ainda é uma constante em nosso país. No caso específico da Física, as pesquisas realizadas na última década mostram que muito tem se discutido sobre a necessidade de práticas alternativas às tradicionais formas de ensino ainda tão comumente desenvolvidas durante as aulas desta disciplina no nível médio, conforme apontam Rezende, Ostermann e Ferraz (2009). Tal preocupação também pode ser verificada nos PCN (BRASIL, 2000), os quais tecem algumas críticas quanto à maneira como a Física costuma ser ensinada em nossas escolas, dado que, de modo geral, esse ensino:

Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas (BRASIL, 2000, p. 22).

Um dos temas que vêm ganhando destaque quanto às possibilidades de utilização nas práticas desenvolvidas para o ensino de Física são as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), principalmente as tecnologias computacionais (ARAÚJO; VEIT, 2004). Diante da diversidade de recursos proporcionados pelos computadores, recentemente, os denominados objetos de aprendizagem (OA) estão ganhando cada vez mais espaço devido às suas potencialidades para o ensino de Ciências, ainda que seu uso em sala de aula continue pouco frequente, sobretudo na Educação Básica, conforme destacam Miranda, Arantes e Studart (2011).

Os OA costumam ser tratados pela maioria dos autores (WILEY, 2000; MACÊDO et al., 2007; SILVA, 2011) a partir de sua definição dada pelo *Learning Technology Standards Committee* (LTSC), órgão ligado ao *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Segundo o LTSC (2002), um objeto de aprendizagem trata-se de qualquer entidade que permita sua utilização, reutilização ou ainda que possa ser referenciada na aprendizagem apoiada por tecnologia. Como descata Wiley (2000), um OA inclui desde recursos menores como imagens digitais ou fotos até páginas inteiras da web que apresentam textos, imagens e outras mídias.

De acordo com Santos Neto, Sasseron e Pietrocola (2009), o uso de OA no contexto educacional oferecem grandes contribuições para a aprendizagem, pois permitem que os alunos trabalhem em diversos contextos, possibilitam o tratamento individual de um único conceito de uma teoria ou um conjunto extenso de conceitos que ela envolve, além de privilegiar situações que valorizam o aluno como construtor de seu próprio conhecimento.

No que diz respeito ao ensino de Física, as simulações computacionais de experimentos constituem um dos OA mais disseminados na área (MIRANDA; ARANTES; STUDART, 2011). Embora as simulações computacionais de experimentos de Física não devam substituir experimentos reais, como destacam os mesmos, dada as suas limitações e por se basear em um modelo que simplifica a realidade (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002), as suas potencialidades para as aulas de Física no Ensino Médio não podem ser desprezadas.

Entre as contribuições associadas às simulações para o ensino de Física, Medeiros e Medeiros (2002) apontam a visualização do fenômeno físico e os elementos a ele envolvidos. Para Pereira (2011) uma das grandes vantagens da visualização é possibilidade de apresentar determinados aspectos de forma explícita, o que não seria possível com um texto. Deste modo, esforços cognitivos por parte dos estudantes seriam poupados, uma vez que:

a explicitação de uma representação gráfica pode facilitar a compreensão da informação, pois elimina a necessidade dos alunos em realizar as pesadas manipulações mentais que seriam necessárias para compreender uma apresentação baseada em texto, com o mesmo conteúdo (PEREIRA, 2011, p. 40).

Outra contribuição quanto ao uso das simulações é apontada por Fiolhais e Trindade (2003), os quais enfatizam sua utilidade para as situações de experimentos difíceis ou impossíveis de se realizar por conta de uma série de fatores, como a necessidade de equipamentos sofisticados, os riscos envolvidos, etc. Além disso, podem-se considerar também as situações em que se torna importante a representação de elementos mais abstratos, como cargas elétricas, fótons, campos, etc (YAMAMOTO; BARBETA, 2001; MIRANDA, ARANTES, STUDART, 2011).

As páginas seguintes apresentam algumas atividades, baseadas no uso de OA, que podem ser desenvolvidas em sala de aula durante a abordagem do tema Eletromagnetismo no Ensino Médio.

1. INVESTIGANDO OS CONCEITOS INICIAIS DO MAGNETISMO COM O OA “LABORATÓRIO DE ELETROMAGNETISMO DE FARADAY”

O OA utilizado

O OA “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday”³ foi desenvolvido pela Universidade do Colorado e está disponível para download no repositório da universidade, o PhET (Physics Education Technology). Este OA permite a realização de simulações a partir dos elementos contidos em uma das cinco janelas que o compõe: *Ímã em Barra*, *Solenóide*, *Eletroímã*, *Transformador* e *Gerador*.

Na janela correspondente ao item *Ímã em Barra* deste OA (Figura 1.1) é possível observar uma bússola e um ímã, os quais podem se deslocados para diferentes pontos ao longo da tela. Deste modo, a partir do movimento de um dos dois objetos ao redor do outro, os alunos poderão perceber a interação entre os mesmos pelas mudanças ocorridas na direção da agulha da bússola.

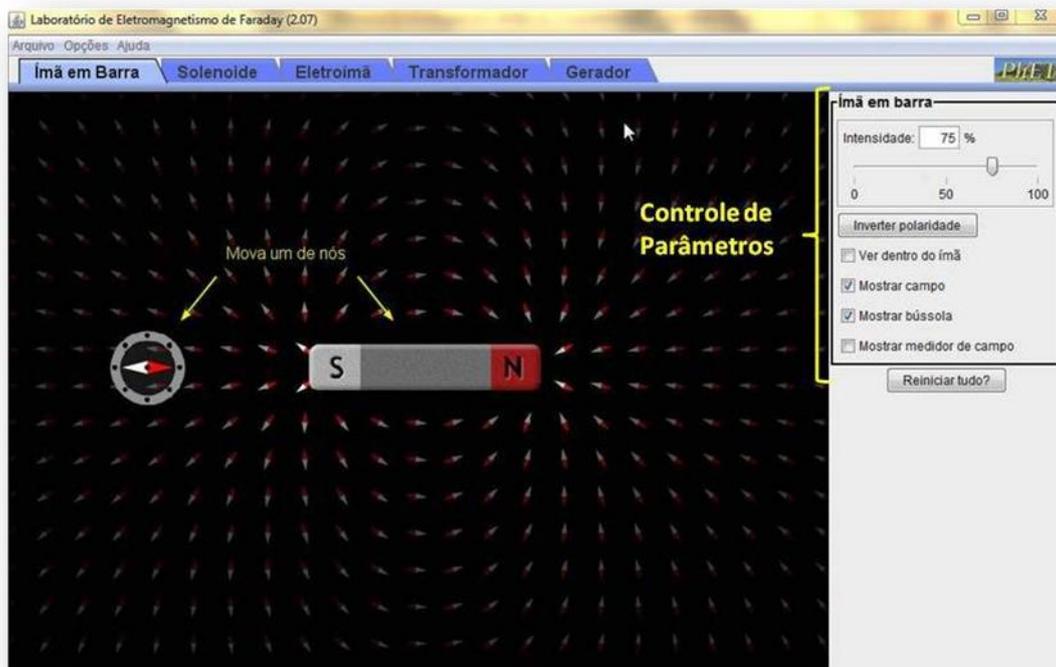


Figura 1.1 – Tela principal do OA *Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday*: Simulação Ímã em Barra.

A possibilidade de controle de alguns parâmetros também permite que algumas conclusões interessantes possam ser obtidas durante a manipulação das simulações. O controle da intensidade relativa do campo magnético gerado pelo ímã, por exemplo,

³ <http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/faraday> (Versão em português). Acesso em: 15 mar. 2012

permite a variação entre 0 % e 100 %. Deste modo, é possível verificar o efeito na agulha da bússola a partir de comparações desde uma situação em que não há campo magnético (intensidade relativa igual a 0 %) como também a diferença observada para a mudança de direção na medida em que se aumenta a intensidade.

O ícone *mostrar medidor de campo*, por sua vez, oferece condições para que o estudante reflita sobre a variação da intensidade do campo magnético para diferentes pontos ao redor do ímã. Já os ícones *mostrar campo* e *ver dentro do ímã* constituem um ponto de partida para que seja discutido o conceito de linhas de campo. Além disso, as comparações podem ser desenvolvidas considerando também a inversão da polaridade do ímã.

A sequência de atividades envolvendo a simulação *Ímã em Barra* é apresentada a seguir.

Atividades Desenvolvidas

1.1. Questionamento Inicial

➤ **Objetivo:** Investigar as concepções iniciais dos alunos a respeito do magnetismo.

➤ **Desenvolvimento:**

Discuta com seus colegas a respeito dos seguintes questionamentos e anote as suas conclusões:

- Para que serve uma bússola?

- Você saberia explicar em que está baseado o seu funcionamento?

- Você conhece algo capaz de interferir no funcionamento de uma bússola? O quê?

➤ **Comentários:**

Nesta atividade os alunos são instigados a refletir sobre as ideias que já possuem a respeito do tema que será explorado nas atividades seguintes. Trata-se de uma estratégia para que o professor possa direcionar melhor as atividades que serão desenvolvidas bem como as discussões que ocorrerão ao longo das mesmas.

1.2. Interações entre Ímãs e Bússolas

- **Objetivo:** Verificar a interferência de um ímã na direção da agulha da bússola quando os dois objetos se encontram nas proximidades um do outro.

- **Desenvolvimento:**

Ao acessar o simulador “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday”, você observará na janela inicial uma bússola próxima de um ímã em forma de barra e, a sua direita, alguns ícones que alteram os elementos que podem ser visualizados na tela. Mova o ponteiro do ícone *intensidade* para a posição *zero* (0 %) e deixe selecionados apenas o ícone *Mostrar Bússola*, conforme pode ser observado na figura 1.2 apresentada a seguir:

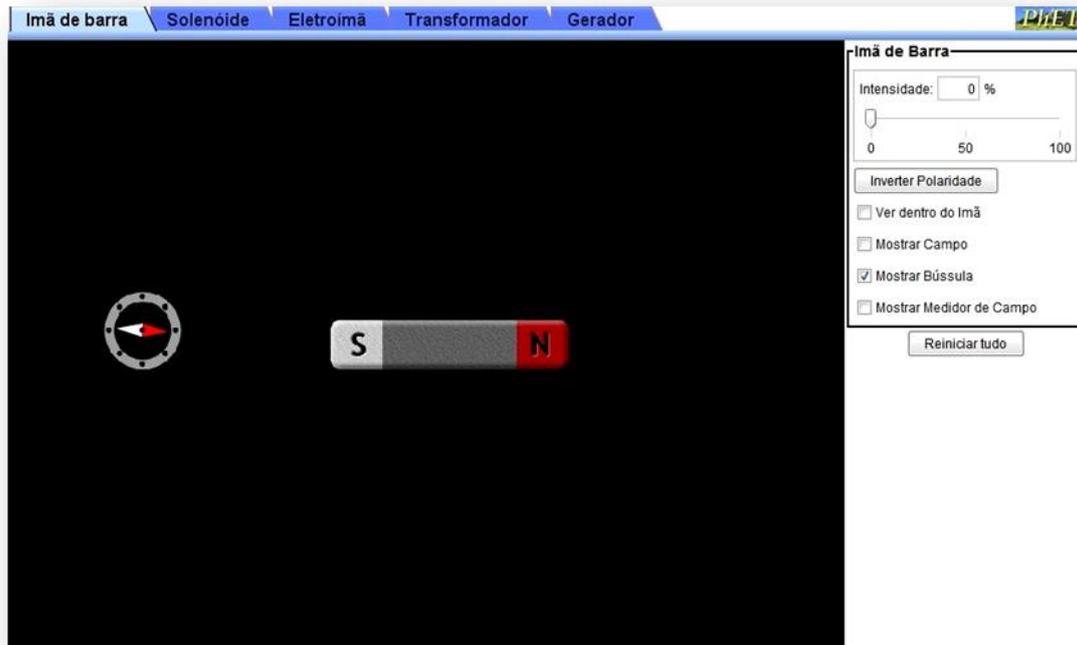


Figura 1.2 – Configuração da tela principal para a simulação realizada.

Mova a bússola ao redor do ímã e observe o que acontece: houve alguma mudança em relação à direção da agulha? Descreva o que você observou.

Altere, agora, a posição do ponteiro do ícone *intensidade* e mova também a bússola para diferentes posições ao redor do ímã, observando atentamente o que acontece. Faça isso para diferentes posições entre 0 % e 100 %. (*Sugestão: faça as suas observações utilizando os valores, 5 %, 25 %, 50 % e 100 %*).

O que aconteceu desta vez? Descreva o que você observou e levante algumas hipóteses procurando explicar o que foi observado nessa atividade.

➤ **Comentários:**

Durante a realização desta atividade é possível chamar a atenção do aluno para o fato de que a direção geográfica Norte/Sul não é estabelecida na simulação. Isto pode ser feito a partir da seguinte comparação:

- Selecione o ícone *Reiniciar tudo?*, restaurando as configurações iniciais da simulação;
- Em seguida, desmarque as opções *Mostrar campo* e *Mostrar bússola*;
- Desloque um pouco o ímã para a parte inferior da tela e selecione novamente o ícone *Mostrar bússola*;
- Observe que assim que a bússola surge na tela, sua direção sofre mudança devido à interação como ímã;
- Desloque, agora, a bússola para outro ponto ao redor do ímã, observando novamente que a agulha se movimenta e assume uma nova direção;
- Mude o valor da intensidade relativa do campo para o valor 0% e note que a direção da agulha se mantém a mesma;
- Posicione a bússola em outro ponto e aumente a intensidade relativa do campo, observando que a direção da agulha da bússola volta a mudar;
- Alterando novamente a intensidade relativa do campo para 0% nenhuma mudança é observada na agulha.

Deste modo, pode-se concluir que a simulação não considera o efeito magnético terrestre no qual está baseado o funcionamento da bússola, pois, nas situações em que a intensidade relativa do campo magnético do ímã é anulada, a agulha sempre deveria assumir uma mesma direção já que estaria apenas sobre o efeito do magnetismo terrestre. Isto, entretanto, não aconteceu. Em todas as situações, a agulha manteve a nova direção assumida ao ser deslocada para aquele ponto.



Figura 1.3 – Limitação da Simulação: Na ausência de campo magnético gerado pelo ímã (intensidade relativa igual a 0 %), a agulha da bússola permanece na mesma direção assumida antes da intensidade ser anulada (não há efeito do campo magnético terrestre).

Apesar de este fato constituir uma limitação apresentada pela simulação, ele poderá gerar uma interessante discussão para ser feita durante a aula. Neste sentido, o professor poderá reproduzir, de forma real em sala, a situação simulada no OA, a partir de um ímã e uma bússola e, assim, comparar junto com seus alunos o que aqui foi descrito.

1.3. As Linhas de Campo

➤ **Objetivo:** Desenvolver a ideia de campo magnético e sua representação por linhas de campo.

➤ **Desenvolvimento:**

Mantenha selecionados os ícones *Ver dentro do ímã*, *Mostrar Campo* e *Mostrar Bússola*, assim como aparece na figura 1.4 a seguir:

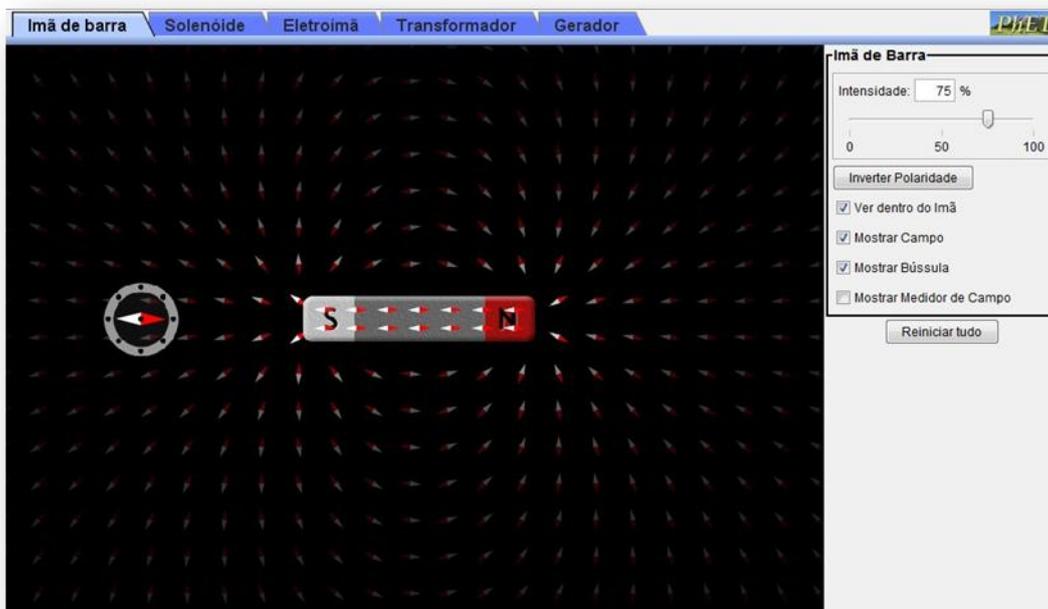


Figura 1.4 – Configuração da tela principal para a segunda simulação realizada.

Como você pode observar, uma nova imagem se forma na tela. Desloque a bússola para diferentes posições ao redor do ímã e observe atentamente a direção da agulha. O que podemos verificar a respeito da direção da agulha da bússola em relação à nova imagem formada? Descreva o que você observou.

Inverta, agora, a posição do ímã clicando no ícone *Inverter Polaridade*. Quais mudanças ocorreram? Descreva o que você observou.

➤ **Comentários:**

Antes de iniciar a discussão a respeito da ideia de linhas de força do campo magnético, o professor poderá sugerir aos alunos a leitura de um texto onde este conceito é discutido. Para isso, poderá lançar mão do livro didático que julgar adequado ou ainda desenvolver o texto de sua autoria sobre este tema.

1.4. A intensidade do Campo Magnético

➤ **Objetivo:** Entender a ideia de campo enquanto mediador das interações magnéticas.

➤ **Desenvolvimento:**

Selecione também o ícone *Mostrar Medidor de Campo*, obtendo uma nova configuração na tela, como aparece na figura a seguir:

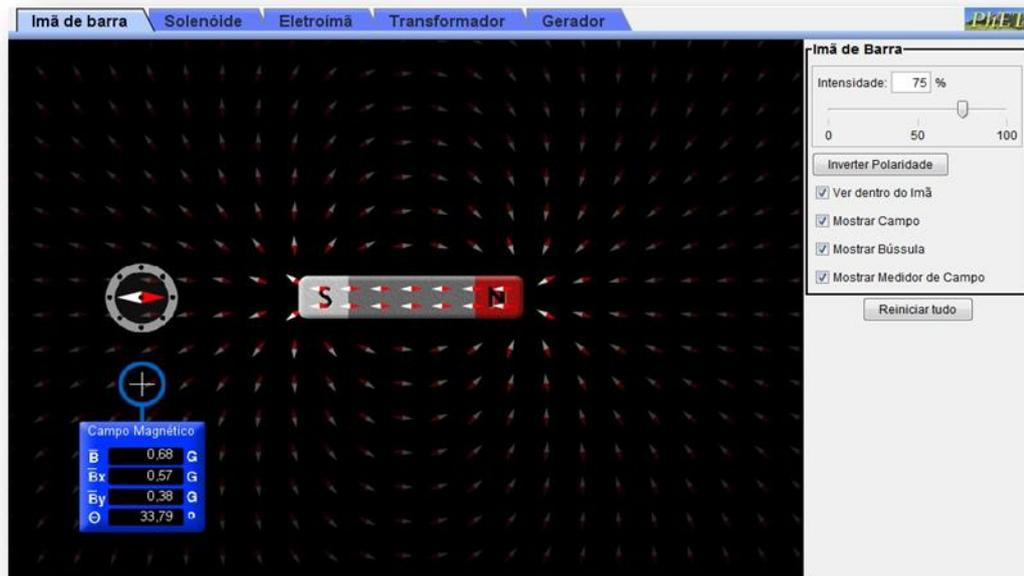


Figura 1.5 – Configuração da tela principal para a terceira simulação realizada.

Desloque lentamente o medidor de campo para diferentes posições e observe atentamente o valor do campo magnético⁴. Faça isso para pontos mais afastados, pontos mais próximos e pontos sobre o ímã e, em seguida, descreva as suas observações:

➤ **Comentários:**

De forma análoga à atividade anterior, o professor também poderá disponibilizar aos alunos um texto para a leitura, de modo a auxiliar a discussão que será desenvolvida após a conclusão desta atividade.

⁴ No Sistema Internacional de Unidades a intensidade do campo magnético é expressa em *tesla* (*T*), mas a simulação utilizada apresenta a medida em *gauss* (*G*), unidade referente ao sistema CGS (sistema de medidas em que as unidades-base são o centímetro para o comprimento, o grama para a massa e o segundo para o tempo): $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

2. ESTUDANDO OS CONCEITOS RELACIONADOS À FORÇA DE LORENTZ A PARTIR DO OA “MOVIMENTO DE CARGAS NUM CAMPO MAGNÉTICO”

O OA utilizado

O OA “Movimento de Cargas num Campo Magnético”⁵ encontra-se disponível no Portal de Ensino de Ciências da USP, chamado Ciência à Mão. Trata-se de uma simulação computacional que permite investigar o comportamento de uma carga elétrica em movimento no interior de uma região de campo magnético que atua perpendicularmente à direção da trajetória da partícula em movimento. Na figura 2.1 é possível observar a tela deste OA com a identificação dos parâmetros por ele apresentados.

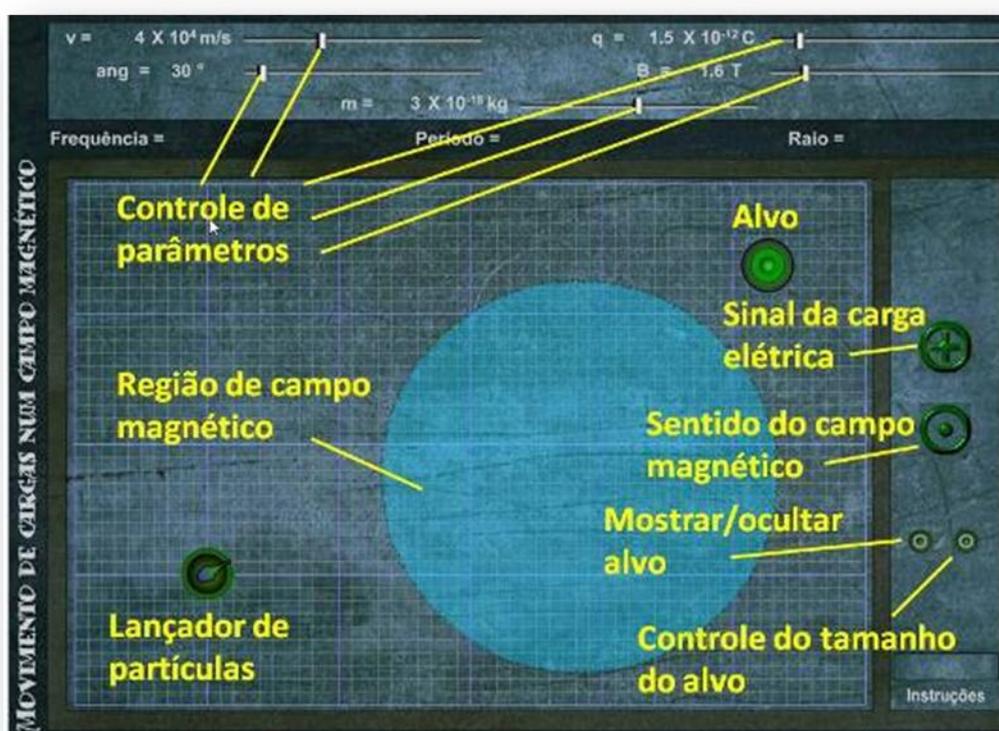


Figura 2.1 – OA *Movimento de Cargas num Campo Magnético*.

A partir do OA é possível simular a situação na qual um lançador dispara partículas carregadas para acertar um alvo, passando por uma região de campo magnético. Ao acessar o OA, a página inicial apresenta uma descrição a seu respeito e algumas instruções para a sua utilização. Os botões apresentados na simulação permitem que diversos parâmetros possam ser alterados ao se fazer o lançamento: ângulo de lançamento, valor da velocidade e massa da partícula, valor e sinal da carga

⁵ <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=tex&cod=_movimentodecargasnumcamp>. Acesso em: 15 mar. 2012

elétrica da partícula, valor e sentido do campo magnético. Além disso, também é possível alterar o tamanho do alvo ou mesmo ocultá-lo durante o lançamento. Para a partícula em movimento, além da visualização da trajetória, também é possível verificar o valor o raio da trajetória circular bem como o período e a frequência do movimento circular uniforme descrito pela partícula.

O conjunto de atividades desenvolvido para a utilização desse OA é descrito a seguir.

Atividades Desenvolvidas

2.1. Lançamentos de uma partícula para acertar o alvo

- **Objetivo:** Perceber que a trajetória de uma partícula carregada em movimento é alterada ao passar por uma região de campo magnético atuando perpendicularmente à direção desta trajetória.

- **Desenvolvimento:**

Clique no botão *mostrar/ocultar alvo* e, em seguida, no *lançador de partículas*. A ideia aqui é tentar acertar a partícula lançada no alvo. Assim, caso ache necessário, mude o valor do ângulo de lançamento.

Você conseguiu acertar o alvo? O que aconteceu? Descreva a trajetória da partícula lançada antes de passar na região de campo magnético, a sua trajetória no interior da região de campo e a sua trajetória após sair dessa região. Utilize também a figura 2.2 a seguir para representar a trajetória visualizada.

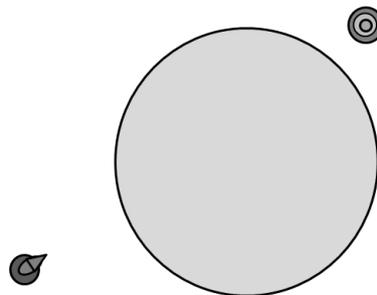


Figura 2.2 – Ilustração na qual será representada a trajetória da partícula lançada contra o alvo.

➤ **Comentários:**

Além de observar a interferência do campo magnético na trajetória da partícula carregada, conforme o objetivo estabelecido para esta atividade, o aluno também terá a oportunidade de se familiarizar com o OA, uma vez que para conseguir cumprir o desafio proposto e acertar o alvo, poderá alterar alguns parâmetros da simulação.

De modo geral, os estudantes costumam alterar apenas o ângulo do lançador durante a tentativa de acertar o alvo. Assim, o professor deverá chamar a atenção para as outras possibilidades. Além disso, o professor deve ficar atento ao fato de que o alvo pode ser movimentado mesmo durante o lançamento, de modo que o aluno poderá deslocá-lo para o ponto adequado no qual a partícula irá atingi-lo. Neste caso, perde-se o potencial de exploração do OA oferecido nesta atividade. Por isso, os alunos deverão ser orientados a cumprir o desafio sem tirar o alvo de sua posição inicial.

2.2. Deslocamento da partícula fora da região de Campo Magnético

➤ **Objetivo:** Observar que a trajetória da partícula fora da região de campo magnético é sempre retilínea, mesmo alterando o valor de sua carga elétrica.

➤ **Desenvolvimento:**

Faça dois lançamentos mantendo a direção do lançador sob um ângulo de 90° : o primeiro lançamento deverá ser para uma carga q de valor 1×10^{-12} C (valor mínimo no simulador) e o segundo para uma carga q de 5×10^{-12} C (valor máximo no simulador). Em todos os lançamentos estabeleça o valor de 5 T para o campo magnético B (valor máximo no simulador) e mantenha os outros parâmetros do simulador sem sofrer alterações.

Utilize a figura 2.3 a seguir para representar a trajetória da partícula nos dois casos:

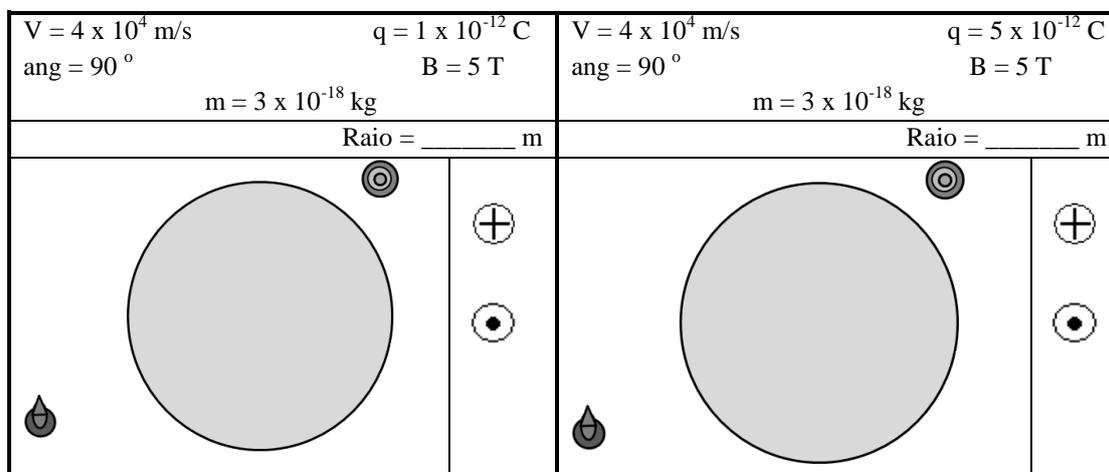


Figura 2.3 – Ilustração na qual será representada a trajetória da partícula fora da região de campo.

Descreva as suas observações para os lançamentos realizados. Que tipo de trajetória foi observado neste caso? Que mudanças ocorreram quando o valor da carga elétrica é aumentado?

➤ **Comentários:**

De modo geral, os alunos não costumam apresentar dificuldades para a realização desta atividade. Apesar de ser mais simples que as demais, ela é importante para a sequência realizada, principalmente para a comparação com o resultado da simulação envolvida na atividade seguinte.

2.3. Deslocamento da partícula no interior do Campo Magnético

➤ **Objetivo:** Perceber a trajetória circular da partícula no interior da região de Campo Magnético.

➤ **Desenvolvimento:**

Repita os procedimentos realizados anteriormente colocando, agora, o lançador de partículas próximo ao centro do campo magnético, conforme a figura 2.4 a seguir:

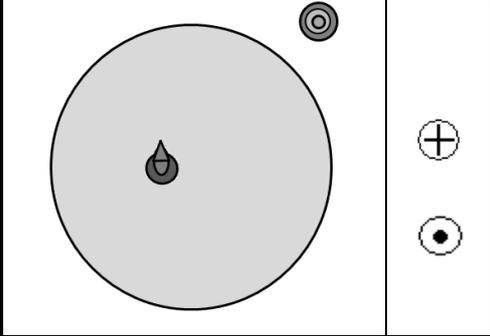
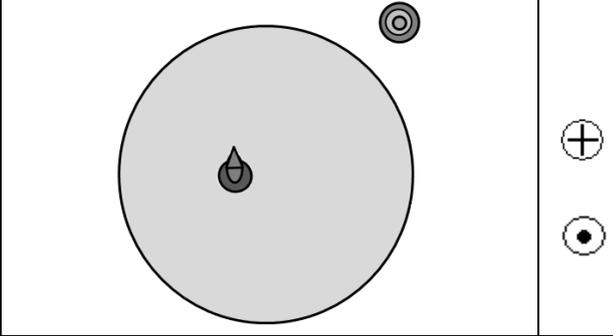
$V = 4 \times 10^4 \text{ m/s}$ $\text{ang} = 90^\circ$ $q = 1 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$	$V = 4 \times 10^4 \text{ m/s}$ $\text{ang} = 90^\circ$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$
Raio = _____ m	Raio = _____ m
	
<p>Atenção: Neste último lançamento é importante que a partícula permaneça apenas no interior do campo magnético. Caso isso não ocorra, coloque o lançador em outras posições próximas ao centro e faça novos lançamentos até obter a situação desejada.</p>	

Figura 2.4 – Ilustração na qual será representada a trajetória da partícula dentro da região de campo.

Descreva as suas observações para os lançamentos realizados. Que tipo de trajetória foi observado neste caso? Que mudanças ocorreram quando o valor da carga elétrica é aumentado?

➤ **Comentários:**

Esta atividade requer um pouco mais de atenção do professor em relação às conclusões obtidas pelos alunos. Isso porque, embora seja constatado que na primeira simulação a partícula descreve uma trajetória curva, existe a dificuldade em se perceber que nesta situação a trajetória também é circular.

Tal dificuldade deve-se ao fato de que, justamente por apresentar carga elétrica de menor valor, o raio de curvatura da trajetória descrita pela partícula em movimento será maior. Consequentemente, a partícula acaba ultrapassando os limites da região de campo magnético, continuando o seu movimento, agora em trajetória retilínea.

Já na segunda simulação isto não acontece, uma vez que para a partícula de maior carga o raio de curvatura é menor.

2.4. Conclusões

➤ **Objetivo:** Escrever as conclusões iniciais a respeito do efeito do campo magnético sobre a partícula em movimento.

➤ **Desenvolvimento:**

Com base nas observações realizadas nas atividades 2.2 e 2.3, descreva as diferenças entre a trajetória da partícula carregada durante o seu movimento na região onde existe a atuação de um campo magnético uniforme e na região em que há ausência deste campo. Discuta com os demais colegas do grupo por que tais mudanças na trajetória da partícula ocorreram. O que seria responsável por tais mudanças? Escreva a seguir as suas conclusões:

➤ **Comentários:**

Esta atividade consiste em uma síntese das observações a respeito das simulações iniciais. Ao descrever tais observações e relatar as diferenças entre as situações investigadas nas atividades 2.2 e 2.3, além de refletir sobre a interferência na trajetória da partícula carregada em movimento causada pelo campo magnético, os alunos poderão também desenvolver algumas hipóteses a respeito do fenômeno estudado.

Deste modo, a atividade poderá trazer importantes elementos para o desenvolvimento da discussão em torno dos conceitos do Eletromagnetismo explorados pelo OA.

2.5. Influência da natureza da carga elétrica

➤ **Objetivo:** Perceber como o sinal da carga elétrica determina a sua trajetória na região de campo magnético.

➤ **Desenvolvimento:**

Compare, agora, a trajetória da partícula quando sua carga elétrica é alterada. Para isso, coloque o lançador em sua posição inicial fora da região de campo magnético e selecione o valor 30° para o ângulo. Faça então um lançamento para a partícula com carga positiva (\oplus) e observe o que acontece. Faça um segundo lançamento para a partícula com carga negativa (\ominus). Registre na figura 2.4 a trajetória da partícula nas duas situações:

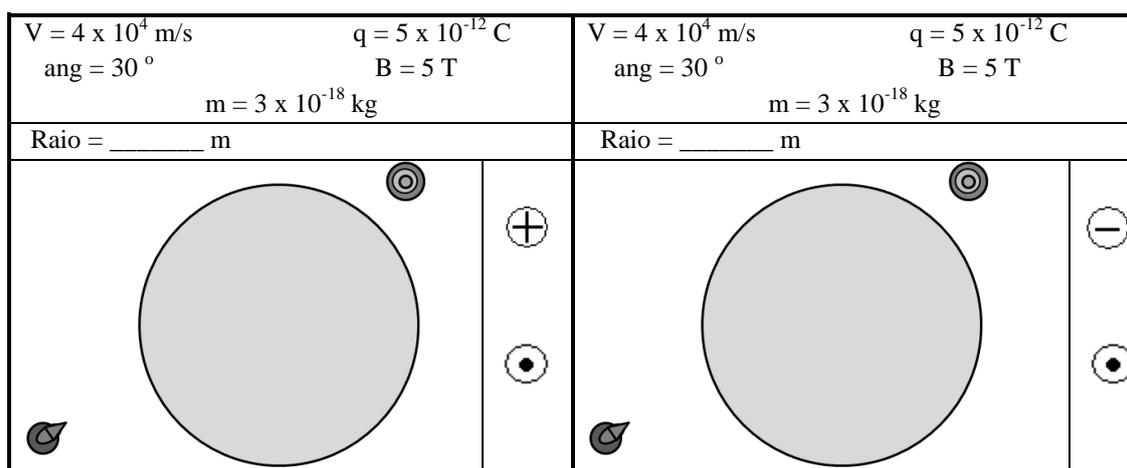
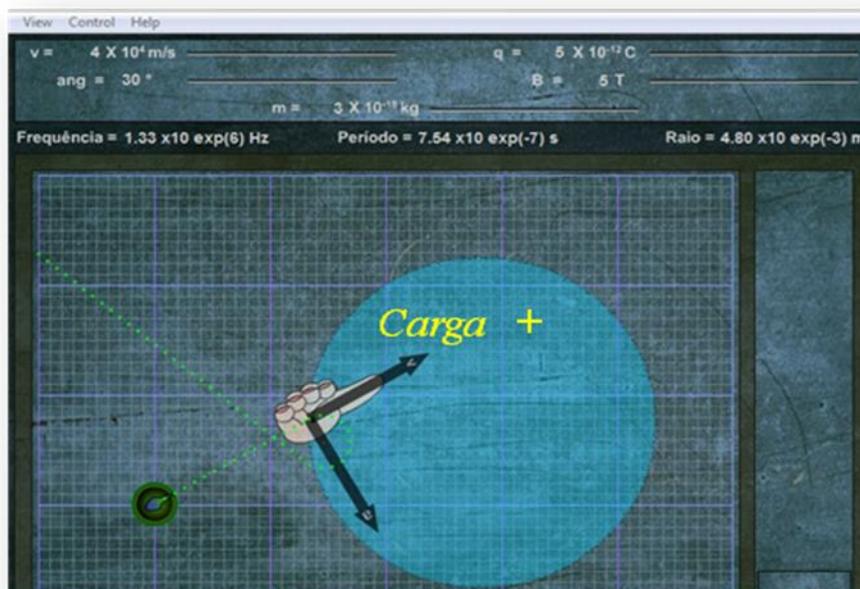


Figura 2.4 – Ilustração na qual será representada a trajetória da partícula para cargas de natureza diferente.

Qual a diferença observada entre o movimento realizado pela partícula de carga positiva e o movimento da partícula com carga negativa nos lançamentos realizados? Descreva as suas observações.

➤ **Comentários:**

As simulações realizadas nesta atividade resultam em duas trajetórias circulares de mesmo raio para a partícula, embora os sentidos sejam diferentes. Entretanto, os alunos podem ter dificuldade em perceber que as duas trajetórias diferem apenas quanto ao sentido do movimento. Isso porque, devido à inversão dos sentidos na trajetória, a carga positiva acaba percorrendo uma região maior de campo magnético do que a negativa, como pode ser observado na figura 2.5. Deste modo, se o valor do raio da trajetória fornecido na simulação for ignorado, os alunos poderão cometer alguns equívocos quanto às conclusões obtidas na atividade.



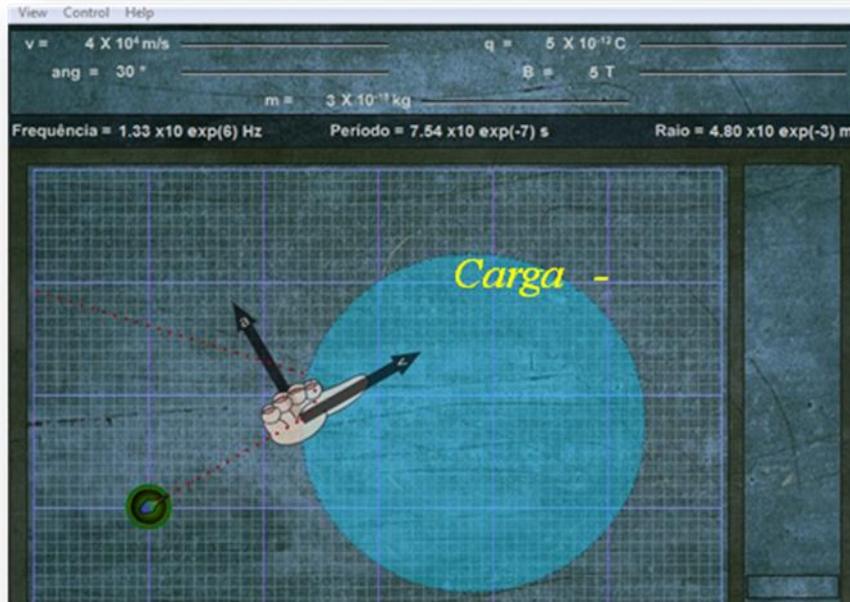


Figura 2.5 – Como o único parâmetro alterado é a natureza da carga, as trajetórias somente diferem no sentido do movimento. Entretanto, como a carga negativa percorre uma região menor de campo magnético, tem-se a impressão de que os raios das trajetórias são diferentes.

Assim, considera-se importante que o professor fique atento quanto a este fato. Neste sentido, novas simulações poderão ser realizadas para que a semelhança entre as trajetórias circulares das partículas de cargas opostas fique mais evidente. O professor poderá, por exemplo, questionar seus alunos sobre como realizar os lançamentos das partículas positiva e negativa de modo a garantir que as mesmas permaneçam pelo mesmo intervalo de tempo na região de campo magnético. Uma das possibilidades para isso seria realizar a simulação com o lançador de partículas posicionado no centro da região de campo magnético, conforme pode ser verificado na figura 2.6.



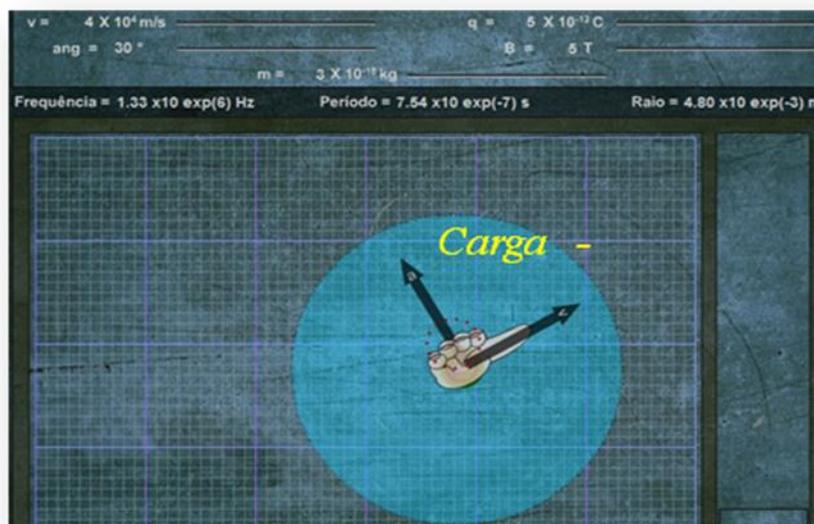


Figura 2.6 – Quando o lançador de partículas é posicionado no centro da região de campo magnético a semelhança entre as trajetórias circulares das partículas de cargas opostas se torna mais evidente.

2.6. Influência do sentido de atuação do Campo Magnético

➤ **Objetivo:** Observar como o sentido do campo magnético influencia a trajetória da partícula.

➤ **Desenvolvimento:**

Faça, agora, lançamentos alterando o sentido do campo magnético. Registre na figura a seguir a trajetória de uma partícula com carga negativa no interior do campo magnético quando o sentido deste é saindo do plano (\odot). Em seguida faça outro lançamento para a partícula alterando o sentido do campo magnético. Nesta nova situação, o campo magnético estará entrando no plano (\otimes). Represente na figura 2.7 as trajetórias que observou.

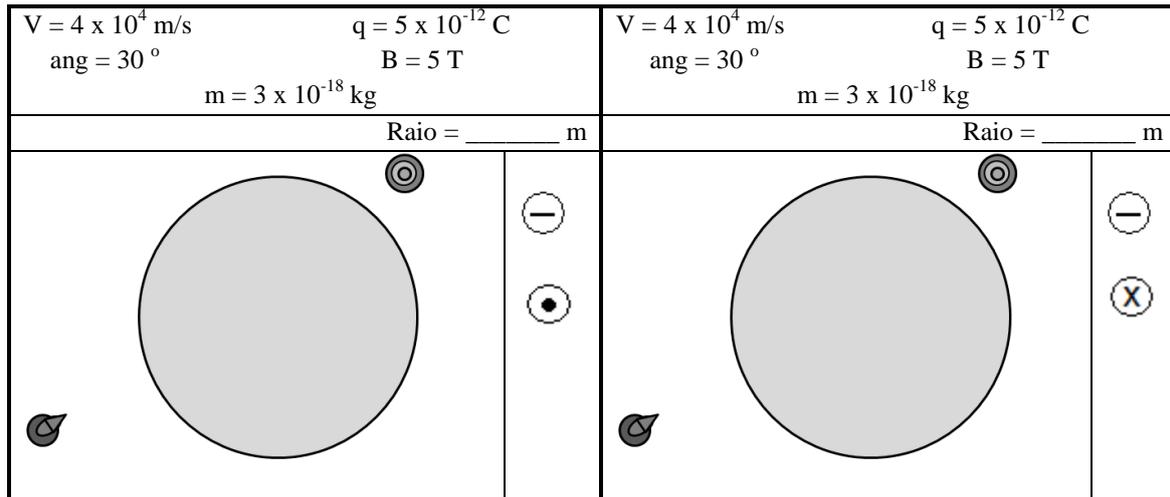


Figura 2.7 – Ilustração na qual serão representadas as trajetórias da partícula quando o sentido do campo magnético é alterado.

Qual a diferença observada entre o movimento realizado pela partícula nos dois casos? Descreva as suas observações.

➤ **Comentários:**

Assim como na atividade anterior, os alunos deverão perceber que a única diferença observada na trajetória da partícula diz respeito ao sentido do movimento. É provável que os alunos consigam perceber que a trajetória descrita por uma partícula de carga negativa, com o campo magnético entrando no plano, é idêntica à trajetória de uma partícula positiva com o campo magnético saindo do plano. Caso contrário, o professor poderá direcionar a discussão desenvolvida após a conclusão da atividade para que isto aconteça.

2.7. Influência da velocidade da partícula no raio da trajetória circular

➤ **Objetivo:** Observar a dependência do raio da trajetória com o valor da velocidade da partícula em movimento.

➤ **Desenvolvimento:**

Verificaremos agora o comportamento da partícula lançada, alterando alguns parâmetros da simulação. Mas atenção: *apenas um dos parâmetros será mudado! Além disso, os valores do ângulo de lançamento, o sinal da carga da partícula e o sentido do campo magnético serão sempre os mesmos para todos os lançamentos. Lembre-se também de que o ângulo de lançamento e a posição do lançador de partícula devem ser tais que garantam que a partícula passe pela região de campo magnético.*

Começaremos comparando a trajetória da partícula lançada com diferentes velocidades. Para isso faça cinco lançamentos alterando apenas a velocidade da partícula entre o valor mínimo e o valor máximo possível e mantendo os demais parâmetros conforme é indicado nas figuras abaixo. Observe atentamente a trajetória da partícula durante cada lançamento, anote o valor da velocidade estabelecida, do raio e, na figura 2.8 abaixo, faça um esboço da trajetória observada em cada caso:

$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ <hr/> $\text{Raio} = ______ \text{ m}$	$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ <hr/> $\text{Raio} = ______ \text{ m}$
$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ <hr/> $\text{Raio} = ______ \text{ m}$	$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ <hr/> $\text{Raio} = ______ \text{ m}$

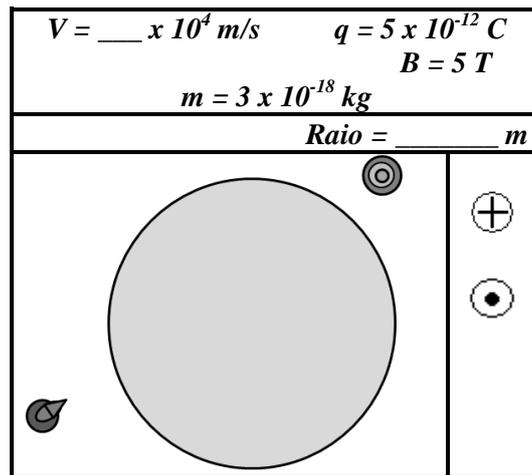


Figura 2.8 – Ilustração na qual serão representadas as trajetórias da partícula quando o valor da velocidade sofre mudanças.

O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula no interior da região onde há a atuação do campo magnético? Descreva suas observações.

➤ **Comentários:**

Ao realizar esta atividade o aluno chegará à conclusão, após comparar as trajetórias da partícula nos cinco lançamentos realizados, de que o aumento na velocidade da partícula resulta no aumento do raio da trajetória circular. Entretanto, o aluno poderá registrar apenas que a mudança na velocidade implica em mudanças na trajetória, sem descrever de que forma isso acontece. Deste modo, é importante que o professor verifique se, durante as suas observações e registro das mesmas, os alunos estão atentos quanto a isto e, caso seja necessário, deverá questioná-los a respeito de como as mudanças na trajetória estão acontecendo na medida em que se aumenta a velocidade da partícula.

2.8. Influência da carga elétrica da partícula no raio da trajetória circular

➤ **Objetivo:** Verificar a dependência do raio da trajetória com o valor da carga da partícula em movimento.

➤ **Desenvolvimento:**

Mantendo a velocidade sempre em $7 \times 10^4 \text{ m/s}$, a massa com valor $3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ e a intensidade do campo magnético igual a 5 T , faça cinco lançamentos alterando apenas a carga da partícula entre os valores mínimo e máximo. Faça um esboço da trajetória para cada lançamento e anote o valor do raio. Para isto, utilize a figura 2.9 a seguir.

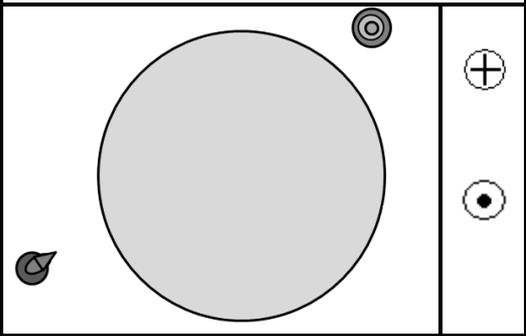
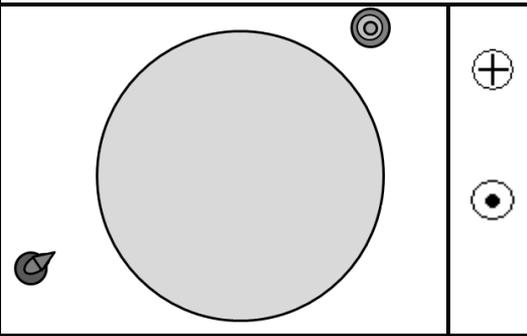
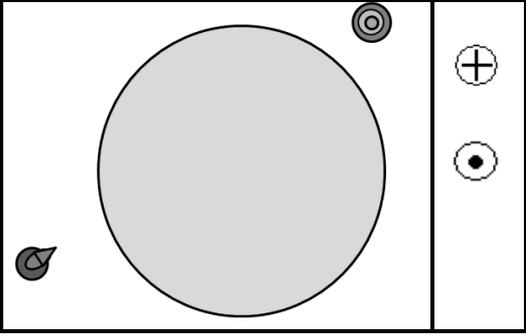
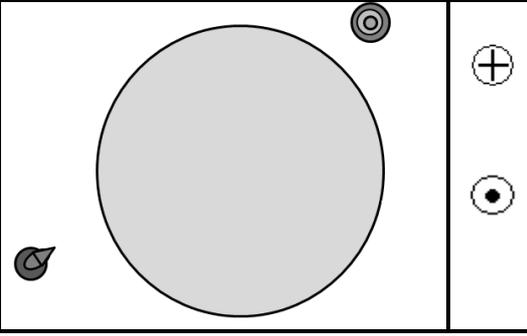
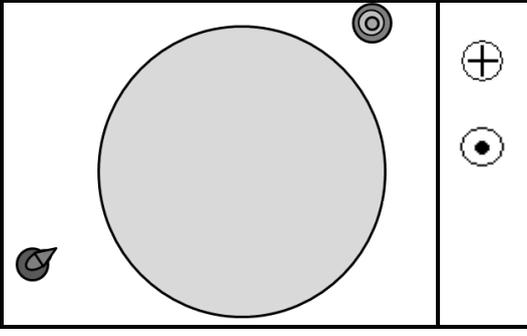
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$
Raio = _____ m	Raio = _____ m
	
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$
Raio = _____ m	Raio = _____ m
	
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$	
Raio = _____ m	
	

Figura 2.9 – Ilustração na qual serão representadas as trajetórias da partícula quando o valor da carga elétrica sofre mudanças.

O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula? Descreva o que observou.

➤ **Comentários:**

Nesta atividade os alunos observarão que o raio da trajetória circular irá diminuir quando se aumenta a carga elétrica. A preocupação que deve ser dada em relação a esta observação diz respeito ao valor raio da trajetória, o qual é expresso em notação científica. Ao contrário da atividade anterior em que todos os valores obtidos para o raio da trajetória são expressos na mesma potência de dez, nesta atividade, o raio da trajetória da partícula de carga 5×10^{-12} C apresenta expoente diferente dos demais, conforme pode ser verificado na figura 9.10. Ao comparar as trajetórias, se o aluno não estiver atento aos expoentes no valor do raio poderá cometer erros ao relatar suas conclusões.

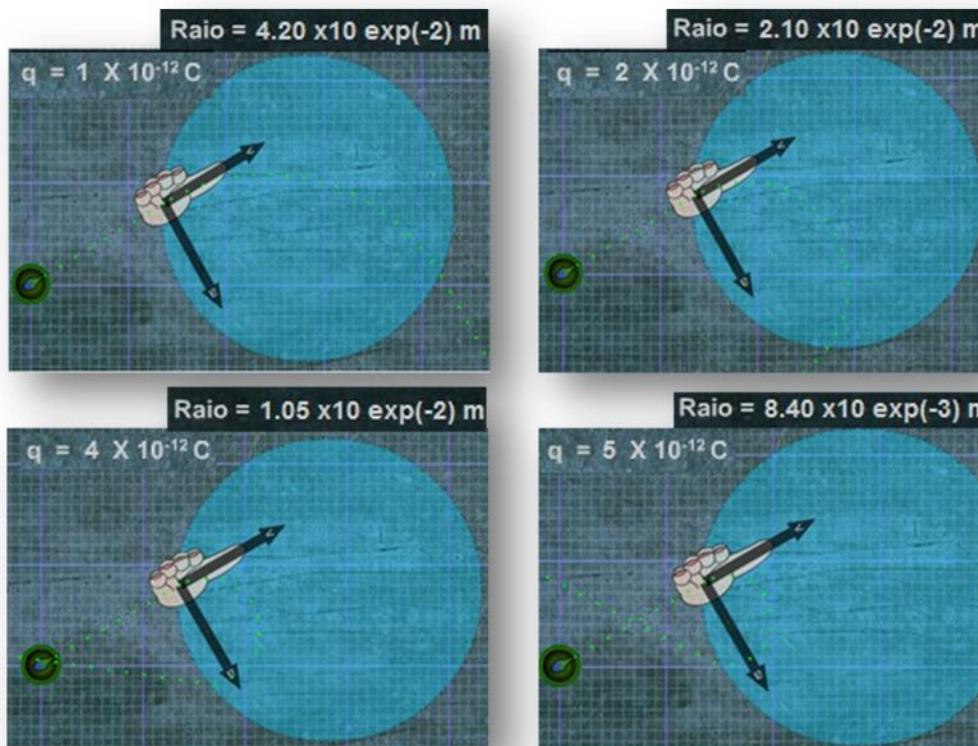


Figura 2.9 – Trajetórias observadas para partículas de cargas diferentes.

2.9. Influência da intensidade do Campo Magnético no raio da trajetória circular

➤ **Objetivo:** Observar a dependência do raio da trajetória com a intensidade do campo.

➤ **Desenvolvimento:**

Mantendo, agora, a velocidade sempre em $7 \times 10^4 \text{ m/s}$, a massa com valor $3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ e a carga elétrica igual a $5 \times 10^{-12} \text{ C}$, faça cinco lançamentos alterando apenas a intensidade do campo magnético entre os valores mínimo e máximo. Utilizando a figura 2.11, faça o esboço da trajetória e anote o valor do raio de curvatura em cada caso.

$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = \text{___ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = \text{___ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = \text{___ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = \text{___ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m

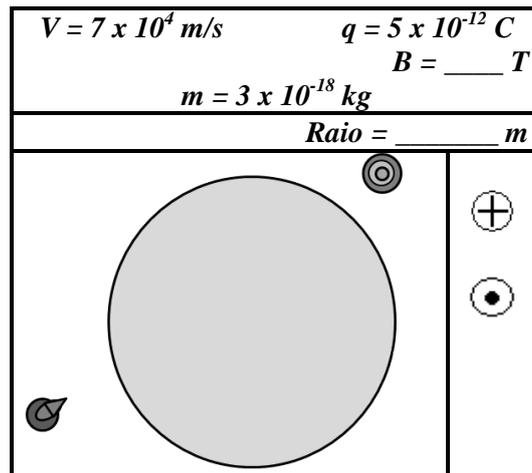


Figura 2.11 – Ilustração na qual serão representadas as trajetórias da partícula quando a intensidade do campo magnético sofre mudanças.

O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula desta vez? Descreva suas observações.

➤ **Comentários:**

Ao realizar a atividade, os alunos poderão constatar que a intensidade do campo magnético influencia a trajetória da partícula, de modo que quanto maior a intensidade do campo magnético, menor é o raio da trajetória circular. De modo geral, considerando a semelhança desta atividade com as outras duas realizadas anteriormente, os alunos costumam realizá-la com maior facilidade e também maior atenção quanto às observações e às conclusões sobre a situação estudada.

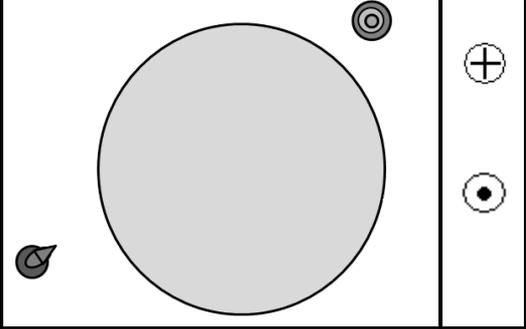
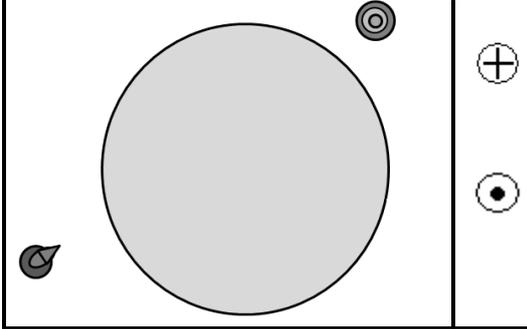
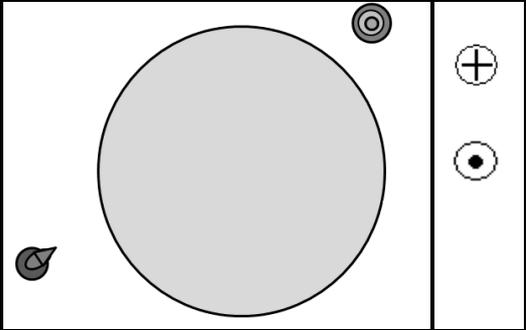
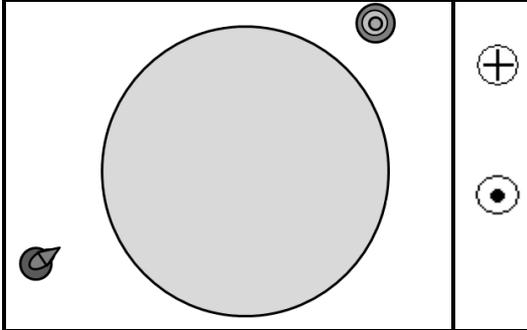
As diferenças em relação aos expoentes da potência de dez para o valor do raio também ocorre nas simulações, mas, uma vez que os alunos já se depararam com tal situação ao comparar a influência da carga sobre a trajetória da partícula, provavelmente estarão mais atentos quanto a isto.

2.10. Influência da massa da partícula no raio da trajetória circular

➤ **Objetivo:** Verificar a dependência do raio da trajetória com o valor da massa da partícula em movimento.

➤ **Desenvolvimento:**

Finalmente, mantendo a velocidade sempre em $7 \times 10^4 \text{ m/s}$, a carga elétrica igual a $5 \times 10^{-12} \text{ C}$ e a intensidade do campo magnético igual a 5 T, faça cinco lançamentos alterando apenas a massa da partícula entre os valores mínimo e máximo. Usando a figura 2.12, anote o valor do raio de curvatura em cada caso e faça o esboço da trajetória descrita pela partícula.

$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = \text{___} \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = \text{___} \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m
	
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = \text{___} \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = \text{___} \times 10^{-18} \text{ kg}$ Raio = _____ m
	

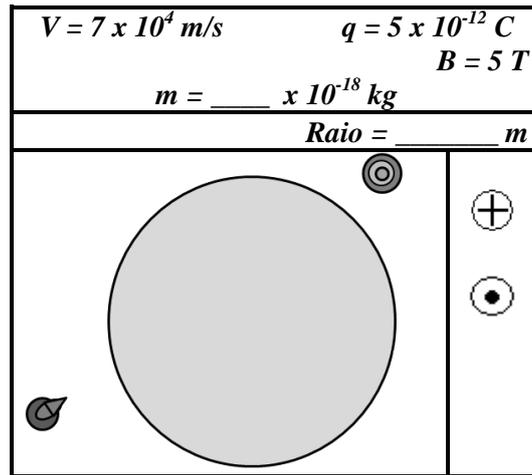


Figura 2.12 – Ilustração na qual serão representadas as trajetórias da partícula quando o valor da massa da partícula sofre mudanças.

O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula à medida que foram feitas alterações no valor de sua massa? Descreva suas observações.

➤ **Comentários:**

Para esta atividade, de modo análogo ao que foi comentado sobre a anterior, os alunos também não costumam ter dificuldades durante sua realização. Outro fato que poderá chamar a atenção dos estudantes, não apenas nesta atividade mas também ao longo das atividades anteriores, é a representação do centro da trajetória circular na simulação.

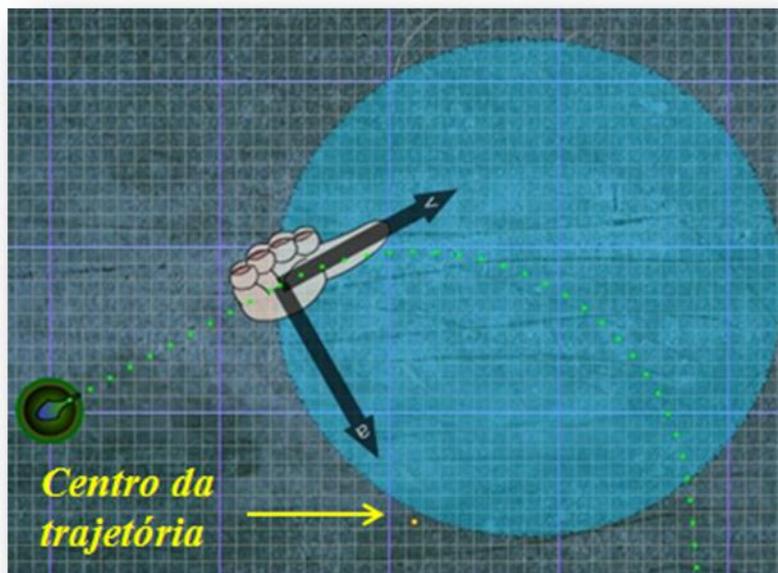


Figura 2.13 – No momento em que a partícula penetra na região de campo magnético, um pontinho representando o centro da trajetória circular é apresentado na tela.

O professor deverá verificar se a representação está clara para o aluno, pois o mesmo pode interpretar de forma errada o pontinho que parece na simulação, chegando até a considerá-lo como uma outra partícula presente na região.

2.11. Questão 1

- **Objetivo:** Organizar as conclusões obtidas a respeito dos parâmetros que influenciam a trajetória da partícula, conforme as quatro últimas atividades realizadas.
- **Desenvolvimento:**

Como pode ser observado na simulação, o raio de curvatura da trajetória da partícula lançada no interior do campo magnético sofre mudanças de acordo com as seguintes variáveis: velocidade da partícula (v), valor da carga (q), massa da partícula (m) e intensidade do campo magnético (B). O que podemos concluir a respeito da dependência do raio de curvatura da trajetória da partícula lançada no interior do campo magnético em função das variáveis citadas? Como ocorre tal dependência?

➤ **Comentários:**

Nesta atividade os alunos irão organizar as conclusões obtidas a respeito da influência dos valores da velocidade, massa e carga da partícula, além da intensidade do campo magnético, para a trajetória do movimento circular no fenômeno estudado. Esta organização será importante para a reflexão que será desenvolvida pelo aluno na atividade a seguir.

2.12. Questão 2

➤ **Objetivo:** Estabelecer a relação entre a força magnética e os parâmetros que influenciam a trajetória da partícula, a partir da comparação com a expressão da força centrípeta.

➤ **Desenvolvimento:**

Quando uma partícula é lançada com velocidade perpendicular à direção do campo magnético uniforme, como aconteceu no caso das simulações realizadas, ela irá realizar um movimento circular uniforme. Isso acontece porque a existência do campo magnético determina a ação de uma força magnética sobre a partícula. Considerando a trajetória circular, essa força magnética é a própria força centrípeta, conforme a equação 2.1:

$$F_M \equiv F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (2.1)$$

Você sabe que quanto maior for o raio de curvatura da trajetória da partícula, menor será a força centrípeta. Sendo assim, de que forma varia a intensidade da força magnética sobre a partícula em função das variáveis analisadas durante a simulação: velocidade da partícula (v), valor da carga (q), massa da partícula (m) e intensidade do campo magnético (B)?

➤ **Comentários:**

Nesta atividade, os alunos são questionados a respeito da influência das variáveis na força resultante sobre a partícula na região de campo magnético. Esta força é a força magnética, uma vez que na simulação outras interações como aquela devido ao campo gravitacional são desprezadas. Mas, como a situação envolvia o movimento circular da partícula, a força magnética é a própria força centrípeta, de modo que a

reflexão sobre o questionamento realizado irá se desenvolver considerando que a força magnética é inversamente proporcional ao raio da curvatura da trajetória:

$$F_M \propto \frac{1}{R} \quad (2.2)$$

Considerando a expressão acima e as conclusões obtidas nas atividades anteriores, os alunos poderão chegar às seguintes conclusões:

$$F_M \propto \frac{1}{v} \quad (2.3)$$

$$F_M \propto q \quad (2.4)$$

$$F_M \propto \frac{1}{m} \quad (2.5)$$

$$F_M \propto B \quad (2.6)$$

Tais conclusões serão discutidas a partir da apresentação aos alunos da expressão da Força de Lorentz, conforme a equação 2.7 a seguir:

$$F_M = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta \quad (2.7)$$

Como nas simulações realizadas, o campo magnético atua perpendicularmente à direção do movimento da partícula, a expressão da Força de Lorentz se reduz à equação 2.8:

$$F_M = q \cdot v \cdot B \quad (2.8)$$

Assim, embora as conclusões a respeito da dependência da intensidade da força magnética em relação à carga e à intensidade do campo magnético, descritas pelas equações 2.4 e 2.6 estão de acordo com a expressão da Força de Lorentz, o mesmo parece não ocorrer com a conclusão obtida sobre a dependência da força magnética com a velocidade, expressa na equação 2.3.

Entretanto, deve-se chamar a atenção do aluno para o fato de que a conclusão expressa pela relação 2.3 foi obtida considerando apenas o fato de que a força magnética seria inversamente proporcional ao raio da trajetória, assim como acontece com a força centrípeta. Porém o fato de que a força centrípeta é proporcional ao quadrado da velocidade, conforme a equação 2.1, foi ignorado.

Por isso, a relação de proporcionalidade expressa em 2.3 não é verdadeira. Mas, a conclusão obtida na questão 1 (atividade 2.11) de que o raio é proporcional à velocidade da partícula está correta, pois, caso contrário, a expressão da Força de Lorentz (equação 2.8) não estaria de acordo com a ideia de que a força magnética é a própria força centrípeta, conforme é expresso na equação 2.1.

2.13. Exercício 1

- **Objetivo:** Identificar, em uma região de campo magnético, as trajetórias de um feixe de próton, um feixe de nêutrons e um feixe de elétrons, considerando o valor das massas de repouso e de suas cargas elétricas.

- **Desenvolvimento:**

Um feixe de partículas, todas com a mesma velocidade, constituído por elétrons, pósitrons (elétrons positivos), prótons e nêutrons penetra em uma região onde atua um

campo magnético perpendicular a sua direção, dando origem a quatro feixes distintos devido aos desvios sofridos pelas partículas atômicas, conforme é indicada na figura 2.12 a seguir:

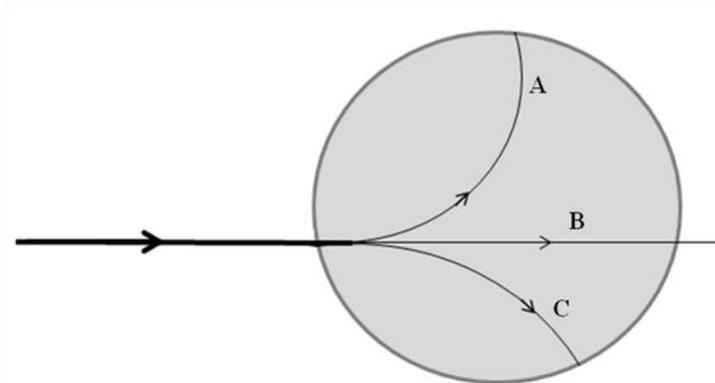


Figura 2.14 – Desvio sofrido pelo feixe de partículas ao passar pela região de campo magnético.

A tabela abaixo apresenta algumas das características dessas partículas:

Partícula	Massa de repouso (kg)	Carga elétrica (C)
Elétron	$9,109 \times 10^{-31}$ kg	$- 1,602 \times 10^{-19}$ C
Nêutron	$1,674 \times 10^{-27}$ kg	0
Próton	$1,672 \times 10^{-27}$ kg	$+ 1,602 \times 10^{-19}$ C

Com base nas trajetórias observadas na figura e nas informações contidas na tabela, indique quais as partículas que constituem cada um dos feixes (A, B e C) e justifique a sua resposta.

➤ **Comentários:**

Neste exercício, os alunos poderão refletir sobre os conceitos estudados, principalmente ao relacionar a dependência do raio de curvatura com a carga e a massa da partícula em movimento. Como o nêutron não possui carga elétrica, ele passa pela região de campo magnético sem sofrer desvio. Portanto, a trajetória percorrida por ele é a trajetória B. As cargas do próton e do elétron diferem apenas pelo sinal e, por isso, o desvio sofrido por essas partículas ocorre em sentidos diferentes. Conforme as conclusões obtidas ao longo da sequência de atividades realizada, o raio aumenta conforme o aumento da massa da partícula. Sendo assim, o próton descreve uma trajetória circular de raio maior do que a trajetória do elétron, pois possui maior massa.

Logo, a trajetória A corresponde ao movimento do elétron e a trajetória C ao movimento do próton.

2.14. Exercício 2

➤ **Objetivo:** Identificar, em uma região de campo magnético, a possível trajetória de um pósitron, conhecida a trajetória de um elétron nesta mesma região.

➤ **Desenvolvimento:**

Um elétron em movimento atravessa uma região de campo magnético, descrevendo a trajetória apresentada na figura abaixo. Se um pósitron, a antipartícula do elétron (possui a mesma massa e a carga elétrica com o mesmo valor, mas com sinal contrário), atravessar essa região de campo magnético, com a mesma velocidade do elétron, qual das trajetórias indicadas na figura (A, B, C, D ou E) será descrita por ele? Justifique a sua resposta.

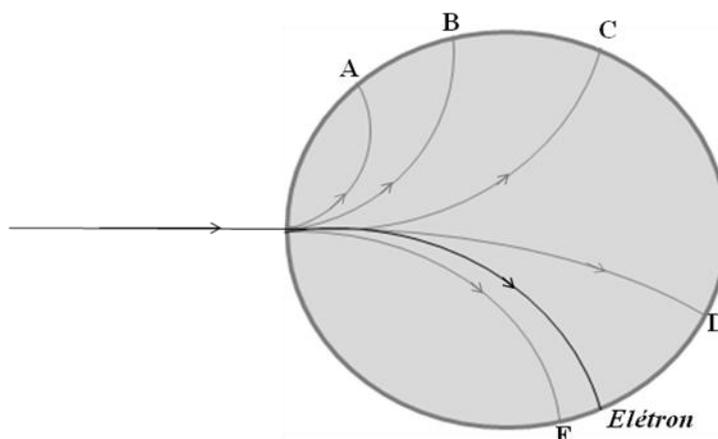


Figura 2.15 – Uma das trajetórias da figura corresponde ao movimento do pósitron.

➤ **Comentários:**

Assim como na atividade anterior, para resolver este exercício, o aluno deverá refletir sobre os fatores que influenciam a trajetória circular de uma partícula numa região de campo magnético atuando perpendicularmente ao seu movimento. Neste caso, baseado na trajetória do elétron, o aluno deverá analisar qual seria a trajetória de um pósitron ao percorrer esta região. Para isso deverá se basear na informação de que o

póstron possui a mesma massa e a mesma carga do elétron, exceto pelo sinal que é positivo. Sendo assim, a diferença entre a trajetória das duas partículas diz respeito apenas ao sentido do movimento. Portanto, o raio da trajetória circular é o mesmo para ambas as partículas, mas o desvio do pósitron ocorre em sentido oposto ao do elétron (trajetória C).

2.15. Exercício 3a

➤ **Objetivo:** Escrever a expressão matemática que relaciona o raio da trajetória circular com a massa da partícula, a velocidade, o valor da carga e a intensidade do campo magnético.

➤ **Desenvolvimento:**

Considere as equações para a força centrípeta e a força magnética apresentadas a seguir:

$$F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$F_M = q \cdot v \cdot B$$

Conforme discutido anteriormente, a força magnética que atua sobre a partícula é a própria força centrípeta na trajetória circular descrita pela partícula, ou seja:

$$F_{cp} = F_M$$

Escreva a equação que relaciona o raio da trajetória com a massa da partícula em movimento, a velocidade, o valor de sua carga e a intensidade do campo magnético na região.

➤ **Comentários:**

Ao desenvolver este exercício os alunos deverão obter a seguinte expressão:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \quad (2.9)$$

Este resultado constitui a formalização matemática das ideias discutidas ao das atividades 2.7 a 2.11. Deste modo, é provável que os estudantes não tenham dificuldades para interpretar o significado desta expressão.

2.16. Exercício 3b

- **Objetivo:** Calcular o raio da trajetória de uma partícula, sendo conhecidos os valores de sua massa, carga elétrica, velocidade e a intensidade do campo magnético.

- **Desenvolvimento:**

Com base na expressão obtida no exercício anterior, calcule o raio da trajetória circular descrita por uma partícula nas seguintes situações:

	Situação 1	Situação 2
<i>m</i> (kg)	3×10^{-18}	2×10^{-18}
<i>v</i> (m/s)	4×10^4	3×10^4
<i>B</i> (T)	3	4
<i>q</i> (C)	2×10^{-12}	5×10^{-12}
<i>R</i> (m)	_____	_____

- **Comentários:**

Os cálculos desenvolvidos nesta atividade estão baseados em dados a respeito da partícula e do campo magnético cujos valores podem ser utilizados no OA *Movimentos de Carga num Campo Magnético*. Deste modo, os alunos poderão realizar as simulações no OA considerando os valores estabelecidos nas duas situações, o que será realizado na atividade seguinte.

2.17. Exercício 3c

- **Objetivo:** Utilizar os parâmetros do exercício 3b no OA e comparar o valor do raio fornecido na simulação com o valor calculado no exercício.

- **Desenvolvimento:**

Procure selecionar para os parâmetros na simulação os mesmos valores que utilizou a fazer o cálculo da trajetória da partícula nas situações do item anterior e

preencha as tabelas abaixo. Em seguida, compare os valores obtidos para o raio nos dois casos (previsto e observado na simulação). Eles são iguais? Descreva o que observou.

Previsto		
	Situação 1	Situação 2
<i>m</i> (kg)	3×10^{-18}	2×10^{-18}
<i>v</i> (m/s)	4×10^4	3×10^4
<i>B</i> (T)	3	4
<i>q</i> (C)	2×10^{-12}	5×10^{-12}
<i>R</i> (m)	_____	_____

Observado na simulação		
	Situação 1	Situação 2
<i>m</i> (kg)		
<i>v</i> (m/s)		
<i>B</i> (T)		
<i>q</i> (C)		
<i>R</i> (m)		

➤ **Comentários:**

A comparação proposta neste exercício não tem por finalidade a comprovação da teoria, no caso, os conceitos relacionados à Força de Lorentz, pelas simulações realizadas. A ideia é justamente o contrário e será necessária até mesmo certa cautela do professor para que os alunos não tenham essa impressão.

O fato de se obter os mesmos valores para o raio da partícula tanto no cálculo a partir da equação 2.9 como na simulação, conforme o esperado, não poderia mesmo ser diferente. Afinal, o OA foi desenvolvido de acordo o modelo matemático expresso por essa equação. Neste sentido, é importante deixar claro para o aluno que, apesar de poder constituir uma importante contribuição para as situações de ensino e aprendizagem, as atividades realizadas a partir das simulações no OA são diferentes daquelas que envolvem experimentos reais.

No caso da sequência de atividades com o OA em questão, as simulações proporcionadas contribuíram não apenas ao proporcionar a investigação que se desenvolveu, mas também porque não seria possível a realização de um experimento para esse fim, considerando os elementos que o fenômeno estudado envolve.

3. NOVAS INVESTIGAÇÕES UTILIZANDO O OA “LABORATÓRIO DE ELETROMAGNETISMO DE FARADAY”

O OA utilizado

Conforme descrito no capítulo 1, o OA “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday” apresenta outras possibilidades de simulações, além da opção *Ímãs em Barra*. Neste capítulo, são apresentadas algumas atividades que exploram os itens *Eletroímã* e *Solenóide*.

A simulação *Eletroímã* apresentada pelo OA (figura 3.1) possibilita o desenvolvimento de atividades para o estudo dos conceitos relacionados à experiência de Oersted. Esta simulação apresenta um circuito elétrico constituído por um conjunto de espiras ligado a uma fonte de tensão, a qual poderá ser contínua ou alternada, conforme a seleção feita pelo usuário, e também uma bússola.

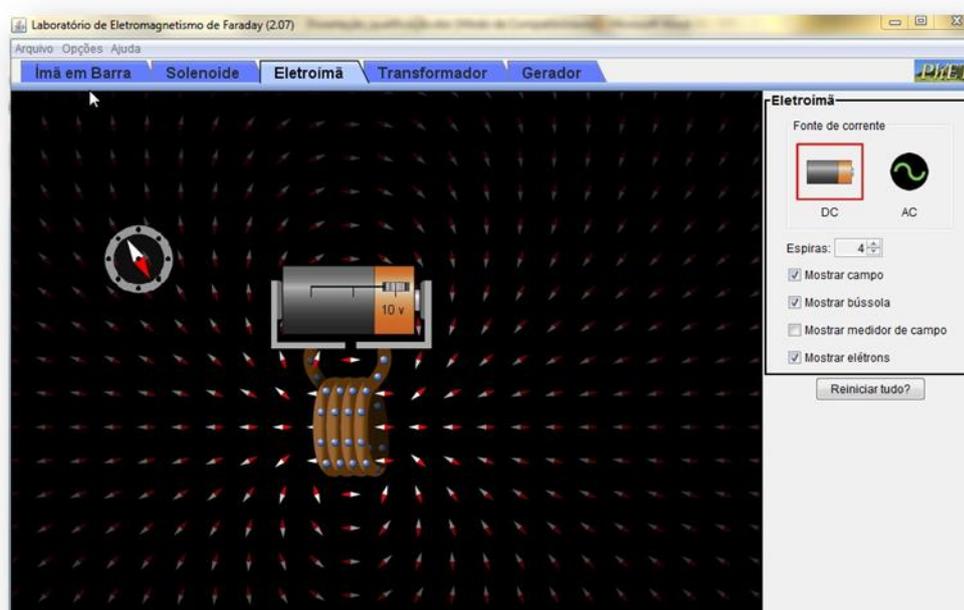


Figura 3.1 – Simulação Eletroímã

Observando a simulação, os estudantes podem perceber a geração de campo magnético por cargas elétricas em movimento, a partir da observação da mudança na direção da agulha da bússola quando colocada em diferentes posições ao redor do eletroímã. Durante a manipulação da simulação, também é possível fazer algumas comparações anulando a voltagem da fonte de tensão e invertendo a polaridade da mesma.

Já a simulação Solenoide (figura 3.2) permite o desenvolvimento de atividades para o estudo do fenômeno da indução eletromagnética. A partir do deslocamento de um ímã em barra no interior do solenoide é possível verificar a indução de corrente elétrica nas espiras, seja pela luz emitida pela lâmpada associada ao circuito ou pelo deslocamento do ponteiro de um voltímetro, conforme a seleção realizada ao manipular

a simulação. Outros parâmetros também podem ser alterados, como a intensidade relativa do campo magnético do ímã, a quantidade de espiras que formam o solenoide e a sua área.

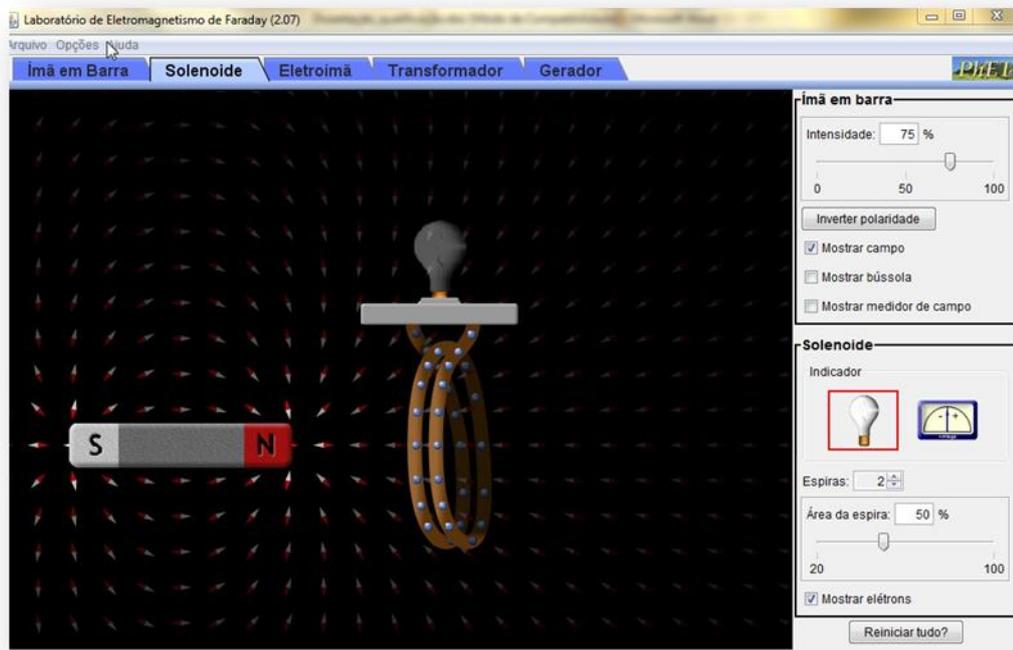


Figura 3.2 – Simulação Solenoide

Na simulação é possível constatar a necessidade da variação do campo magnético para a formação de corrente induzida no solenoide e também que a quantidade de espiras e o valor de sua área influenciam quanto a corrente elétrica ali induzida.

Atividades Desenvolvidas

3.1. Campo magnético gerado por correntes elétricas

- **Objetivo:** Observar a mudança na direção da agulha de uma bússola quando colocada próxima a um circuito percorrido por corrente elétrica.
- **Desenvolvimento:**

Acesse o simulador *Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday*. Vá para a segunda pasta *Eletroímã* e, entre os ícones apresentados à direita, mantenha selecionados apenas os ícones *Mostrar bússola* e *Mostrar elétrons*. No botão de controle de voltagem, anule a tensão elétrica gerada (0 V), conforme a configuração da figura 3.3 a seguir.



Figura 3.3 – Configuração do eletroímã (tensão elétrica nula).

- Desloque a bússola para diferentes posições ao redor do circuito e observe o que acontece com o ponteiro da bússola;
- Desloque agora o botão de controle de voltagem para a direita, aumentando o valor da tensão da pilha. O que acontece com a bússola? Coloque a bússola em diferentes posições ao redor do circuito e observe atentamente o que acontecerá.

Descreva a seguir as suas observações, conforme as orientações dos itens anteriores:

➤ **Comentários:**

Nesta atividade, o aluno irá observar que, assim como aconteceu na atividade 1.2 em que a bússola foi posicionada em diferentes pontos ao redor de um ímã, a agulha da bússola muda de direção quando este instrumento é deslocado ao redor do eletroímã. Espera-se que o aluno consiga concluir sobre a existência de um campo magnético devido à passagem de corrente elétrica no circuito. A comparação realizada considerando nula a tensão elétrica na pilha e, em seguida, com um determinado valor de tensão, levará o aluno a perceber sobre a necessidade da passagem de corrente elétrica para que as mudanças na direção da agulha ocorram.

3.2. Campo magnético gerado por correntes elétricas: conclusões

➤ **Objetivo:** Escrever as conclusões iniciais sobre a geração de campo magnético por cargas elétricas em movimento.

➤ **Desenvolvimento:**

Inverta a polaridade da pilha (para isso, desloque o botão de controle de voltagem para a esquerda). O que acontece com a bússola?

Anule novamente a voltagem e compare o comportamento da bússola ao redor do circuito. Discuta com os colegas do grupo o que observaram e anote as suas conclusões. Na opinião de vocês, como podemos explicar tudo o que aconteceu?

➤ **Comentários:**

Complementando a atividade anterior, as conclusões obtidas pelos alunos auxiliarão o professor quanto ao desenvolvimento dos conceitos relacionados à experiência de Oersted. Neste sentido, estas atividades poderão ser utilizadas como uma forma de introdução ao tema.

Além disso, caso seja possível a sua realização, atividades baseadas em uma montagem experimental poderão complementar as discussões desenvolvidas em sala. Alguns livros didáticos de Física do Ensino Médio costumam trazer sugestões a respeito de tais montagens⁶.

⁶ Algumas sugestões de bibliografia são feitas no Anexo B deste material.

3.3. Corrente elétrica induzida

➤ **Objetivo:** Observar a formação de corrente induzida quando um ímã atravessa as espiras de um solenoide.

➤ **Desenvolvimento:**

Acesse o simulador *Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday* e, em seguida, a pasta *Solenoide*. Mantenha os ícones à direita (*mostrar campo*, *mostrar bússola* e *mostrar medidor de campo*) desmarcados, obtendo uma configuração semelhante à da figura 3.4 a seguir:

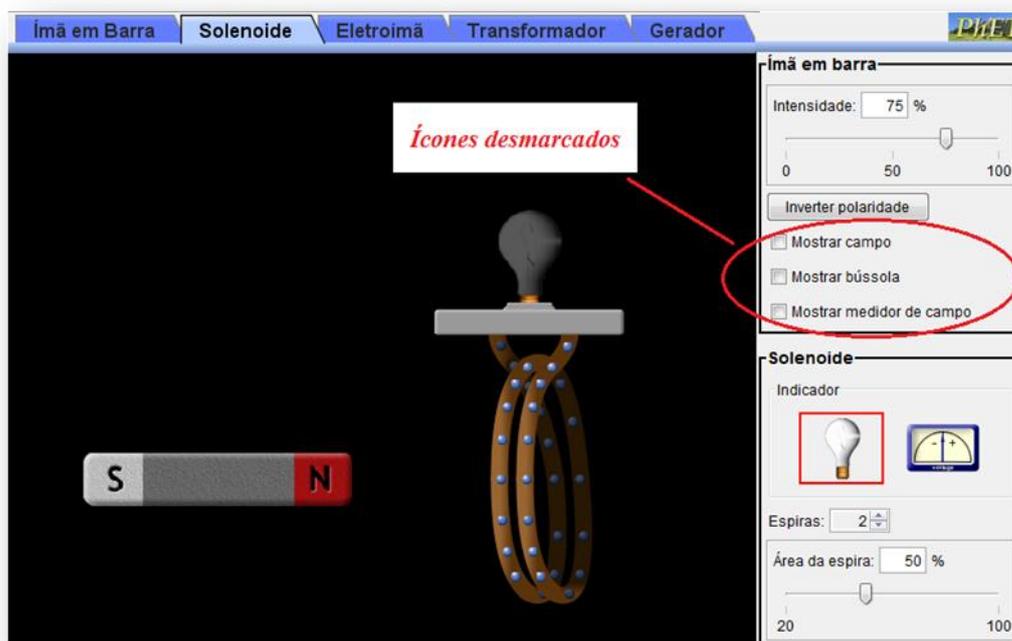


Figura 3.4 – Configuração da tela para a simulação Solenoide.

Movimente o ímã lentamente para direita, atravessando as espiras do solenoide. Em seguida retorne lentamente com o ímã para a posição inicial. Nas duas situações observe o que acontece com a lâmpada e anote a seguir:

Repita o movimento anterior de maneira mais rápida. O que acontece?

➤ **Comentários:**

De forma análoga ao que foi sugerido nas duas atividades anteriores, esta atividade e as próximas poderão ser aplicadas como uma forma de introdução a outros conceitos Eletromagnetismo. Neste caso, como ponto de partida aos estudos dos conceitos relacionados à corrente induzida.

Ao realizar esta primeira atividade, os estudantes irão observar que enquanto o ímã se movimenta em relação ao solenoide, a lâmpada emite luz. Além disso, também terão a oportunidade de perceber que quanto mais rápido é o movimento relativo, maior é o brilho da lâmpada.

3.4. Fatores que determinam a intensidade da corrente elétrica induzida

➤ **Objetivo:** Verificar como a mudança de algumas características, como a intensidade relativa do campo magnético do ímã, a quantidade de espiras e a área das mesmas, influencia na corrente elétrica induzida.

➤ **Desenvolvimento:**

Mantenha, agora, a intensidade relativa do campo (ícone *intensidade*) em torno de 5% e movimente o ímã novamente. Em seguida, repita o procedimento aumentando o valor da intensidade até chegar a 100 %. De que modo a intensidade relativa do campo magnético do ímã influencia o que está acontecendo?

Altere, agora, a quantidade de espiras (ícone *espiras*) entre os valores 1 e 3 e observe as mudanças ocorridas. Em seguida, aumente a área da espira (ícone *área da espira*) e faça uma nova observação. Anote o que foi observado a seguir:

➤ **Comentários:**

Ao fazer as comparações propostas nesta atividade, o aluno poderá ter dificuldades ou mesmo não perceber as diferenças propostas na segunda questão, principalmente ao observar a influência da área da espira para a corrente induzida. Por isso, esta atividade também pode ser desenvolvida com a utilização da simulação *Gerador*, também apresentada no OA. Esta simulação é composta por uma turbina e um solenoide, os quais podem ter alguns parâmetros variados conforme a figura a seguir 3.5. A variação do campo magnético para gerar a corrente induzida é causada pelo ímã acoplado à turbina que entrará em rotação de acordo com a vazão de água recebida. Trata-se de uma representação bastante simplificada de uma hidrelétrica.



Figura 3.5 – Simulação Gerador

O interessante neste caso é que, uma vez que os parâmetros podem ser alterados com o ímã em rotação, as diferenças observadas tornam-se mais evidentes (figuras 3.6 e 3.7). Além disso, na comparação da influência da área da espira do solenoide em que a observação requer mais atenção para que as diferenças possam ser notadas, ao se utilizar o indicador de tensão induzida as dúvidas são elucidadas (figura 3.8).

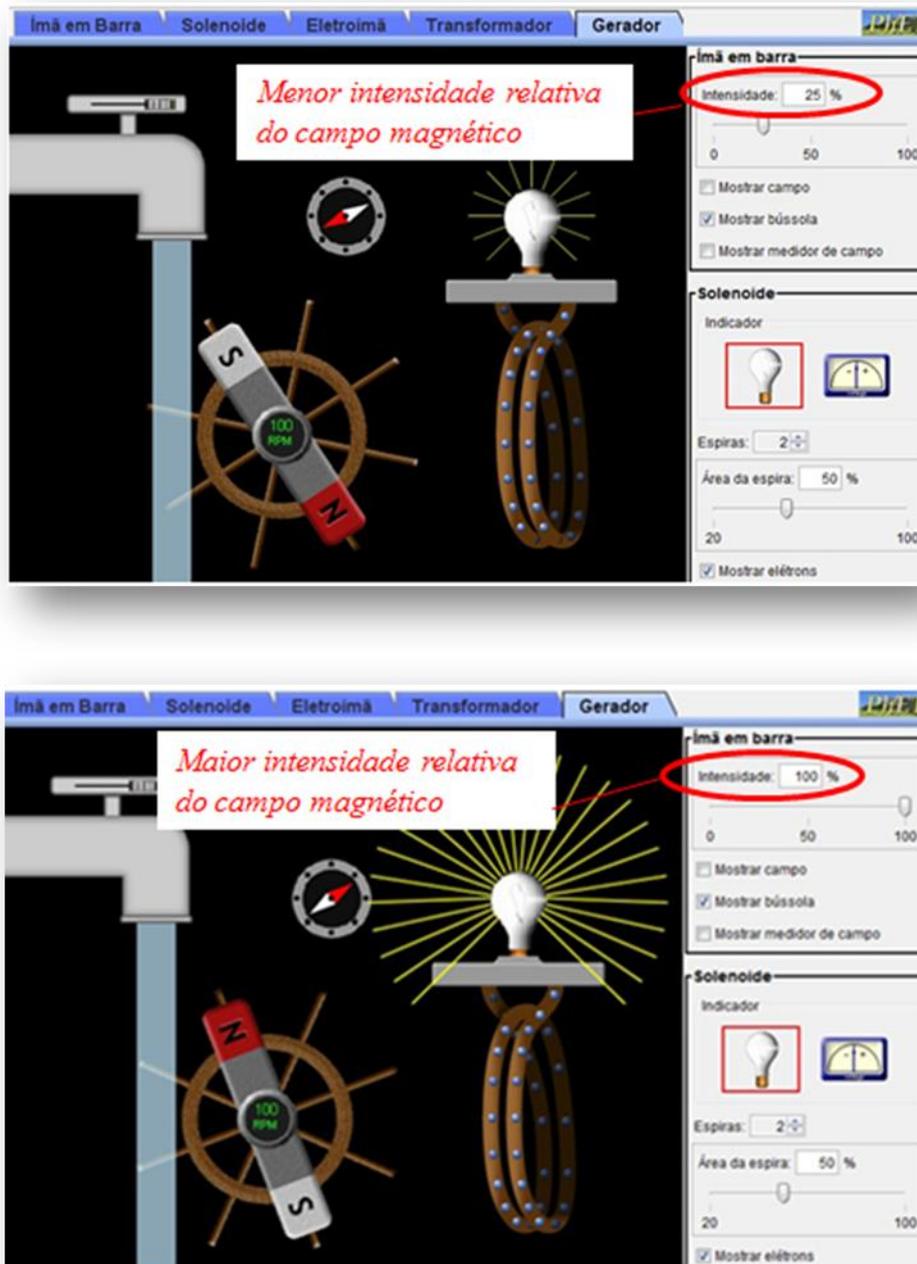


Figura 3.6 – Comparação entre a intensidade relativa do campo magnético.



Figura 3.7 – Comparação entre o número de espiras no solenoide.

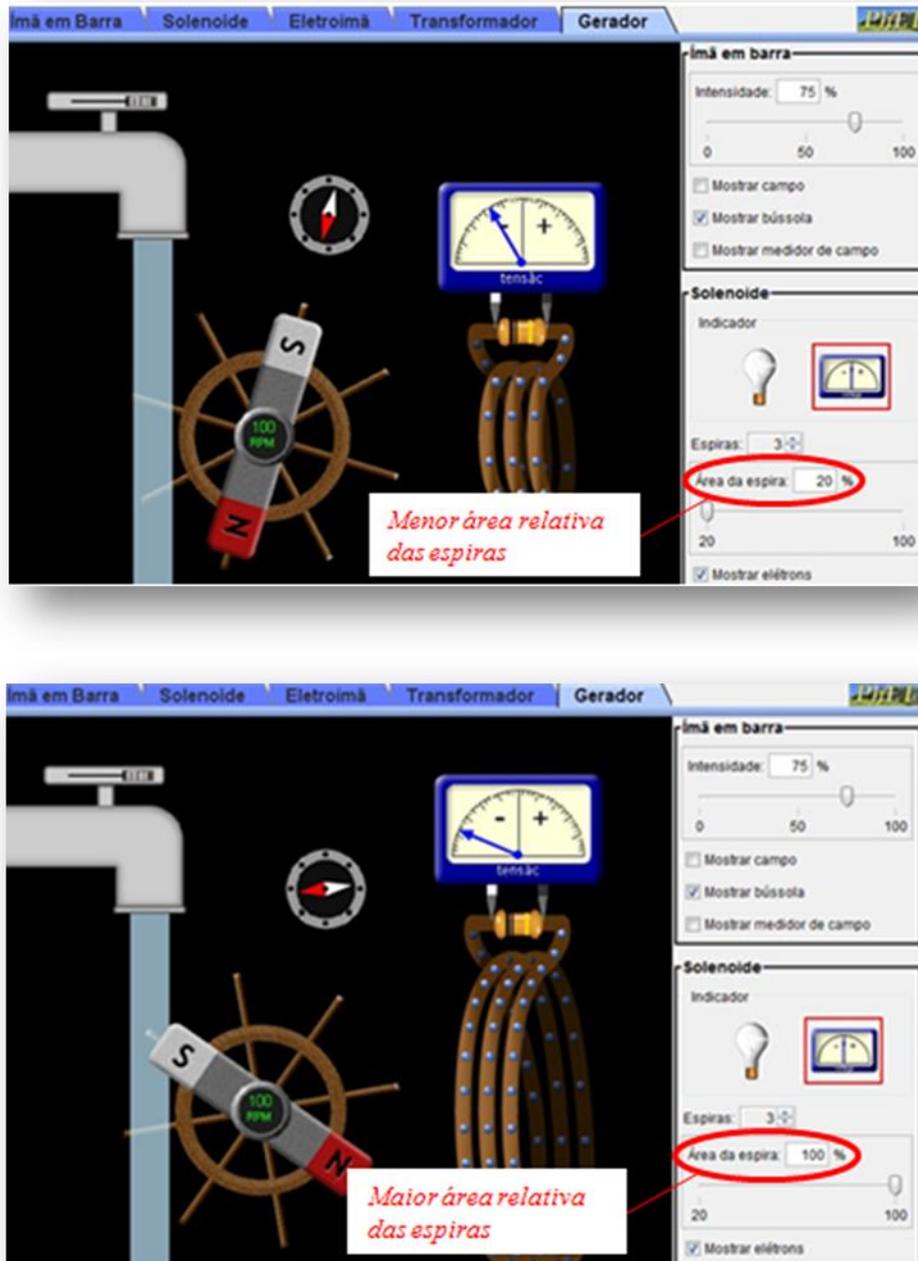


Figura 3.8 – Comparação entre a área das espiras do solenoide.

3.5. Conclusões

- **Objetivo:** Descrever como é possível gerar corrente elétrica em uma espira a partir de campo magnético.
- **Desenvolvimento:**

Responda, agora, a seguinte questão: é possível gerar corrente elétrica no interior da espira a partir de um campo magnético? De que modo?

➤ **Comentários:**

Nesta atividade os alunos são levados a fazer uma reflexão sobre os principais elementos relacionados ao conceito de indução eletromagnética, a partir das considerações e observações feitas ao longo da sequência de atividades executada. Tais atividades servirão de apoio para a discussão das leis de Faraday e Lenz e de outras ideias relacionadas ao fenômeno da indução.

Caso seja possível e o professor deseje, também poderá lançar mão de montagens experimentais, conforme a sugestão de alguns livros didáticos que abordam o tema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este produto educacional foi desenvolvido levando-se em conta as potencialidades das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), em especial os OA, para o ensino de Física. Longe de considerá-las uma solução para o ensino, acreditamos que as TIC constituem uma interessante alternativa para auxiliar o trabalho docente. A sua utilização em sala de aula, inclusive aliada a outras estratégias de ensino conforme as possibilidades do professor, como as práticas experimentais, por exemplo, poderá apresentar-se como uma importante contribuição para os objetivos estabelecidos quanto ao ensino e à aprendizagem de conceitos físicos.

No caso das simulações desenvolvidas a partir dos OA, a possibilidade de visualização de elementos relacionados aos conceitos mais abstratos, como os conceitos de Eletromagnetismo abordados nas sequências de atividades apresentadas anteriormente, as potencialidades e contribuições tornam-se mais evidentes. As visualizações auxiliam o entendimento dos conceitos estudados, na medida em que parecem facilitar a sua compreensão. Ainda que o desenvolvimento de habilidades relacionadas à capacidade de abstração seja importante durante o estudo da Física e das Ciências de modo geral, uma representação mais concreta obtida nas simulações não traz prejuízos quanto a estas habilidades, mas, pelo contrário, contribui para que as mesmas sejam desenvolvidas à medida que auxilia os estudantes na superação dos obstáculos iniciais quanto a isto.

A possibilidade de desenvolvimento de atividades que favoreçam a reflexão e a investigação durante as situações de ensino e a aprendizagem, oferecida pelos OA, também constitui outra grande contribuição. Práticas desta natureza são consideradas importantes para a construção do conhecimento, principalmente em se tratando do ensino e da aprendizagem em Ciências. Além disso, os alunos passam a assumir um papel mais ativo durante as aulas, inclusive nas discussões que se desenvolvem durante a abordagem dos temas.

Finalmente, considerando também o quão diferente pode ser a realidade em sala de aula, sabemos que adaptações e adequações das atividades aqui propostas poderão tornar-se necessárias, conforme o perfil da turma na qual serão desenvolvidas. Esperamos também que este material possa servir como um encaminhamento quanto a isto.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Uma Revisão da Literatura Sobre Estudos Relativos a Tecnologias Computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Ciências**, v. 4, n. 3, p. 5-18, 2004.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**, Brasília, 2000.

LEARNING TECHNOLOGY STANDARDS COMMITTEE (LTSC). **Draft Standard for Learning Object Metadata** (IEEE 1484.12.1-2002). Julho de 2002. Disponível em: <http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2011.

MACÊDO, L. N. et al. Desenvolvendo o pensamento proporcional com o uso de um objeto de aprendizagem. In: PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A. A. (org.). **Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico**. Brasília: MEC, SEED, 2007, p. 17-26. Disponível em: <<http://rived.mec.gov.br/artigos/livro.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2011.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002.

MIRANDA, M. S.; ARANTES, A. R.; STUDART, N. **Objetos de Aprendizagem no Ensino de Física: usando simulações do PhET**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19. 2011, Manaus. Anais... Manaus: SNEF, 2011.

PEREIRA, J. A. **Fenômenos Eletromagnéticos e sua visualização: um obstáculo de aprendizagem**. 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SANTOS NETO, E. S.; SASSERON, L. H.; PIETROCOLA, M. “Como usar objetos de aprendizagem” em aulas de Ciências: articulações entre teoria e prática na formação à distância de multiplicadores. **Experiência em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 83-92, 2009.

SILVA, R. S. **Objetos de Aprendizagem para Educação a Distância: Recursos para ambientes virtuais de aprendizagem**. São Paulo: Novatec, 2011. 142 p.

WILEY, D. A. Connection learning objects to instructional theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. In: WILEY, D. A. **The instructional use of learning objects**. Bloomington, Indiana: Agency for Instructional Technology: 2000. p. 3-23. Disponível em: <<http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

YAMAMOTO, I.; BARBETA, V. B. Simulações de Experiências como Ferramenta de Demonstração Virtual em Aulas de teoria de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 215-225, 2001.

SUGESTÕES – LIVROS DIDÁTICOS

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. Volume 3. São Paulo: Ática, 2010.

GRF. Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 3: Eletromagnetismo**. 5. ed. São Paulo: EDUSP, 2007.

LUZ, A. M. R.; ALVAREZ, B. A. **Curso de Física**. Volume 3. São Paulo: Scipione, 2010.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos 3**. Eletricidade e Magnetismo, Ondas Eletromagnéticas, Radiação e Matéria. São Paulo: FTD, 2010.

ANEXOS:

Fichas de Atividades para uso em sala de aula

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 1 – Questionamentos Iniciais

Discuta com seus colegas a respeito dos seguintes questionamentos e anote as suas conclusões:

- Para que serve uma bússola?

- Você saberia explicar em que está baseado o seu funcionamento?

- Você conhece algo capaz de interferir no funcionamento de uma bússola? O quê?

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 2 – Interações entre Ímãs e Bússolas

Ao acessar o simulador “Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday”, você observará na janela inicial uma bússola próxima de um ímã em forma de barra e, a sua direita, alguns ícones que alteram os elementos que podem ser visualizados na tela. Mova o ponteiro do ícone *intensidade* para a posição zero (0 %) e deixe selecionados apenas o ícone *Mostrar Bússola*, conforme pode ser observado na figura a seguir:



Mova a bússola ao redor do ímã e observe o que acontece: houve alguma mudança em relação à direção da agulha? Descreva o que você observou.

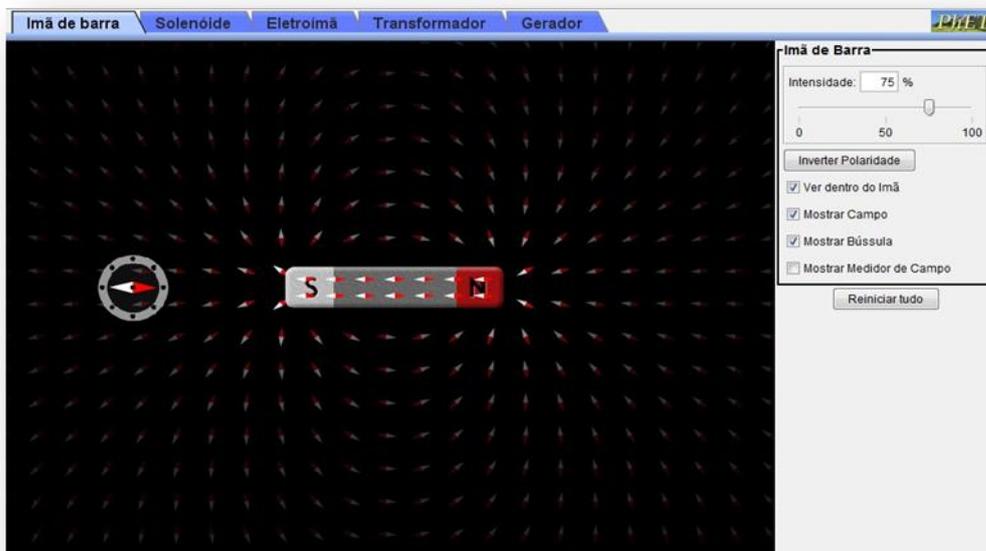
Altere, agora, a posição do ponteiro do ícone *intensidade* e mova também a bússola para diferentes posições ao redor do ímã, observando atentamente o que acontece. Faça isso para diferentes posições entre 0 % e 100 %. (*Sugestão: faça as suas observações utilizando os valores, 5 %, 25 %, 50 % e 100 %*).

O que aconteceu desta vez? Descreva o que você observou e levante algumas hipóteses procurando explicar o que foi observado nessa atividade.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 3 – As Linhas de Campo

Mantenha selecionados os ícones *Ver dentro do ímã*, *Mostrar Campo* e *Mostrar Bússola*, assim como aparece na figura a seguir:



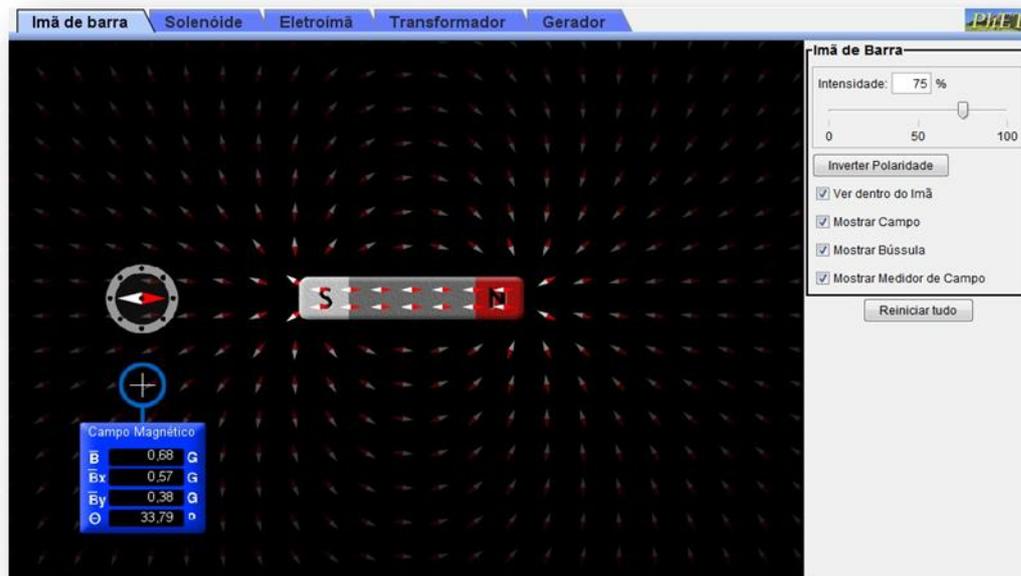
Como você pode observar, uma nova imagem se forma na tela. Desloque a bússola para diferentes posições ao redor do ímã e observe atentamente a direção da agulha. O que podemos verificar a respeito da direção da agulha da bússola em relação à nova imagem formada? Descreva o que você observou.

Inverta, agora, a posição do ímã clicando no ícone *Inverter Polaridade*. Quais mudanças ocorreram? Descreva o que você observou.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 4 – A intensidade do Campo Magnético

Selecione também o ícone *Mostrar Medidor de Campo*, obtendo uma nova configuração na tela, como aparece na figura a seguir:



Desloque lentamente o medidor de campo para diferentes posições e observe atentamente o valor do campo magnético⁷. Faça isso para pontos mais afastados, pontos mais próximos e pontos sobre o ímã e, em seguida, descreva as suas observações:

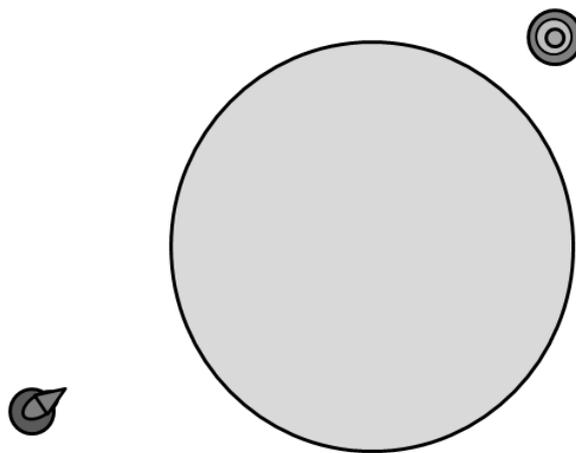
⁷ No Sistema Internacional de Unidades a intensidade do campo magnético é expressa em *tesla* (*T*), mas a simulação utilizada apresenta a medida em *gauss* (*G*), unidade referente ao sistema CGS (sistema de medidas em que as unidades-base são o centímetro para o comprimento, o grama para a massa e o segundo para o tempo): $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 5 – Lançamentos de uma partícula para acertar o alvo

Clique no botão *mostrar/ocultar alvo* e, em seguida, no *lançador de partículas*. A ideia aqui é tentar acertar a partícula lançada no alvo. Assim, caso ache necessário, mude o valor do ângulo de lançamento.

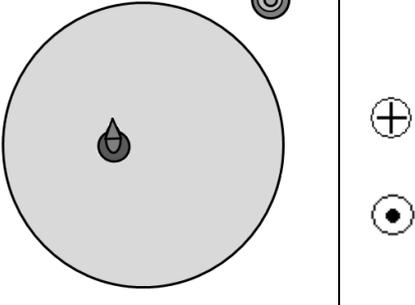
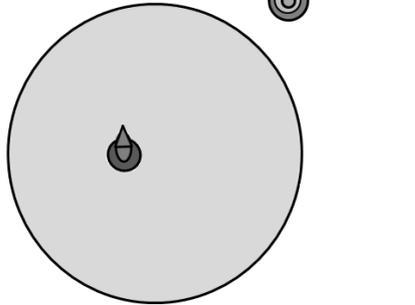
Você conseguiu acertar o alvo? O que aconteceu? Descreva a trajetória da partícula lançada antes de passar na região de campo magnético, a sua trajetória no interior da região de campo e a sua trajetória após sair dessa região. Utilize também a figura a seguir para representar a trajetória visualizada.



Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 7 – Deslocamento da partícula no interior do Campo Magnético

Repita os procedimentos realizados anteriormente colocando, agora, o lançador de partículas próximo ao centro do campo magnético, conforme a figura a seguir:

$V = 4 \times 10^4 \text{ m/s}$ $\text{ang} = 90^\circ$ $q = 1 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$	$V = 4 \times 10^4 \text{ m/s}$ $\text{ang} = 90^\circ$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $B = 5 \text{ T}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$
Raio = _____ m	Raio = _____ m
	
<p>Atenção: Neste último lançamento é importante que a partícula permaneça apenas no interior do campo magnético. Caso isso não ocorra, coloque o lançador em outras posições próximas ao centro e faça novos lançamentos até obter a situação desejada.</p>	

Descreva as suas observações para os lançamentos realizados. Que tipo de trajetória foi observado neste caso? Que mudanças ocorreram quando o valor da carga elétrica é aumentado?

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 11 – Influência da velocidade da partícula no raio da trajetória circular

Faça cinco lançamentos alterando apenas a velocidade da partícula entre o valor mínimo e o valor máximo possível e mantendo os demais parâmetros conforme é indicado nas figuras abaixo. Observe atentamente a trajetória da partícula durante cada lançamento, anote o valor da velocidade estabelecida, do raio e, na figura abaixo, faça um esboço da trajetória observada em cada caso:

$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
 $B = 5 \text{ T}$
 $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$

Raio = $______ \text{ m}$

$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
 $B = 5 \text{ T}$
 $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$

Raio = $______ \text{ m}$

$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
 $B = 5 \text{ T}$
 $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$

Raio = $______ \text{ m}$

$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
 $B = 5 \text{ T}$
 $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$

Raio = $______ \text{ m}$

$V = ___ \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
 $B = 5 \text{ T}$
 $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$

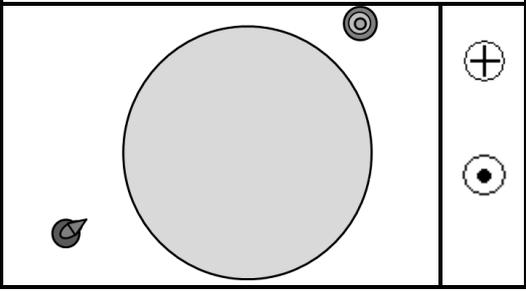
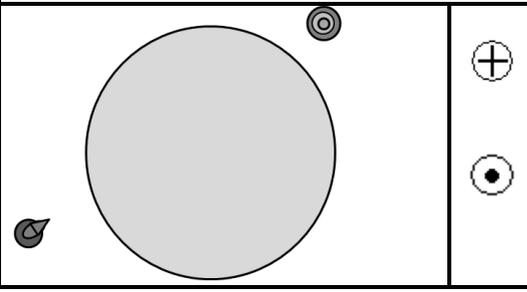
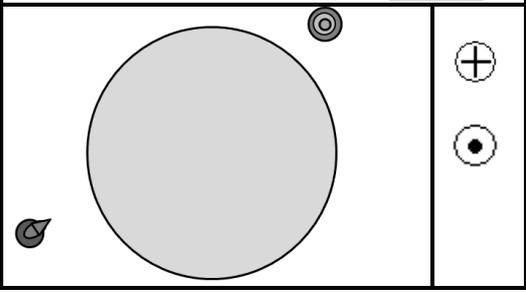
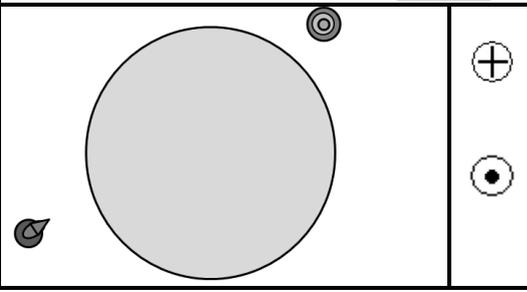
Raio = $______ \text{ m}$

O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula no interior da região onde há a atuação do campo magnético? Descreva as suas observações.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 12 – Influência da carga elétrica da partícula no raio da trajetória circular

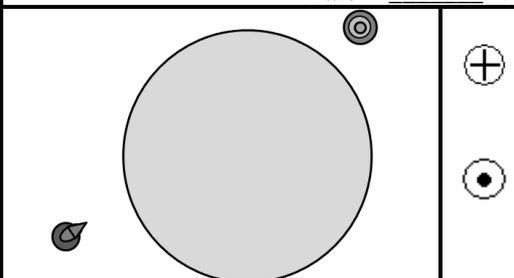
Mantendo a velocidade sempre em $7 \times 10^4 \text{ m/s}$, a massa com valor $3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ e a intensidade do campo magnético igual a 5 T , faça cinco lançamentos alterando apenas a carga da partícula entre os valores mínimo e máximo. Faça um esboço da trajetória para cada lançamento e anote o valor do raio. Para isto, utilize a figura a seguir.

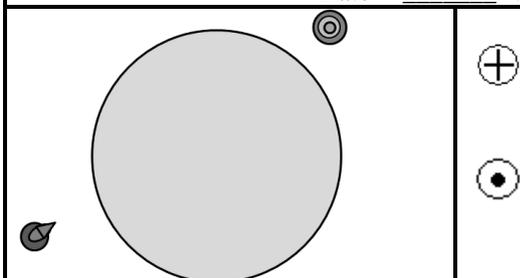
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$ Raio = _____ m	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$ Raio = _____ m
	
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$ Raio = _____ m	$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$ Raio = _____ m
	
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = ___ \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = 5 \text{ T}$ Raio = _____ m	<p>O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula? Descreva o que observou.</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

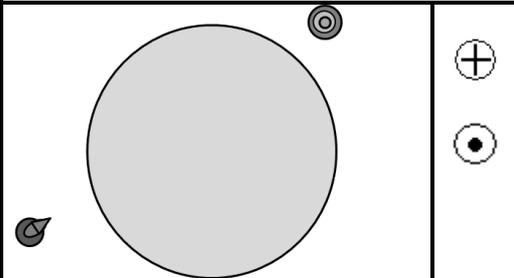
Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

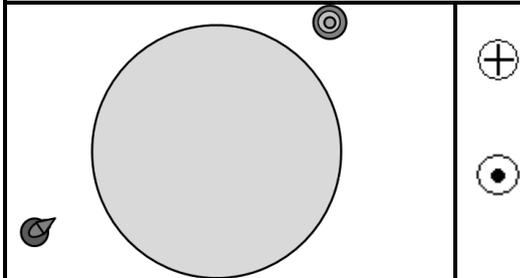
Atividade 13 – Influência da intensidade do Campo Magnético no raio da trajetória circular

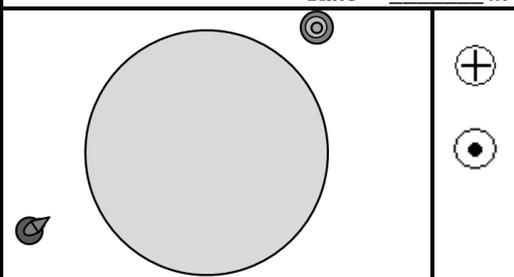
Mantendo, agora, a velocidade sempre em $7 \times 10^4 \text{ m/s}$, a massa com valor $3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ e a carga elétrica igual a $5 \times 10^{-12} \text{ C}$, faça cinco lançamentos alterando apenas a intensidade do campo magnético entre os valores mínimo e máximo. Faça o esboço da trajetória e anote o valor do raio de curvatura em cada caso.

$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = \text{___} \text{ T}$
Raio = _____ m


$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = \text{___} \text{ T}$
Raio = _____ m


$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = \text{___} \text{ T}$
Raio = _____ m


$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = \text{___} \text{ T}$
Raio = _____ m


$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$ $q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$ $m = 3 \times 10^{-18} \text{ kg}$ $B = \text{___} \text{ T}$
Raio = _____ m


O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula desta vez? Descreva suas observações.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 14 – Influência da massa da partícula no raio da trajetória circular

Finalmente, mantendo a velocidade sempre em $7 \times 10^4 \text{ m/s}$, a carga elétrica igual a $5 \times 10^{-12} \text{ C}$ e a intensidade do campo magnético igual a 5 T, faça cinco lançamentos alterando apenas a massa da partícula entre os valores mínimo e máximo. Anote o valor do raio de curvatura em cada caso e faça o esboço da trajetória descrita pela partícula.

$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$	$q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
	$B = 5 \text{ T}$
$m = ___ \times 10^{-18} \text{ kg}$	
Raio = ___ m	

$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$	$q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
	$B = 5 \text{ T}$
$m = ___ \times 10^{-18} \text{ kg}$	
Raio = ___ m	

$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$	$q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
	$B = 5 \text{ T}$
$m = ___ \times 10^{-18} \text{ kg}$	
Raio = ___ m	

$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$	$q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
	$B = 5 \text{ T}$
$m = ___ \times 10^{-18} \text{ kg}$	
Raio = ___ m	

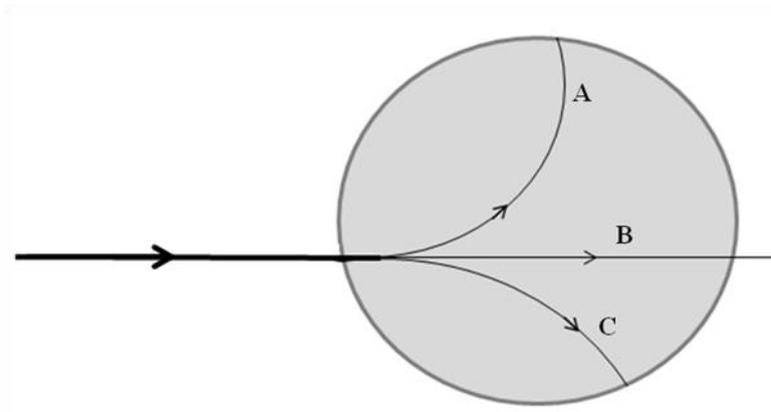
$V = 7 \times 10^4 \text{ m/s}$	$q = 5 \times 10^{-12} \text{ C}$
	$B = 5 \text{ T}$
$m = ___ \times 10^{-18} \text{ kg}$	
Raio = ___ m	

O que aconteceu com o raio de curvatura da trajetória da partícula à medida que foram feitas alterações no valor de sua massa? Descreva suas observações.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 17 – Exercício 1

Um feixe de partículas, todas com a mesma velocidade, constituído por elétrons, pósitrons (elétrons positivos), prótons e nêutrons penetra em uma região onde atua um campo magnético perpendicular a sua direção, dando origem a quatro feixes distintos devido aos desvios sofridos pelas partículas atômicas, conforme é indicada na figura a seguir:



A tabela abaixo apresenta algumas das características dessas partículas:

Partícula	Massa de repouso (kg)	Carga elétrica (C)
Elétron	$9,109 \times 10^{-31}$ kg	$- 1,602 \times 10^{-19}$ C
Nêutron	$1,674 \times 10^{-27}$ kg	0
Próton	$1,672 \times 10^{-27}$ kg	$+ 1,602 \times 10^{-19}$ C

Com base nas trajetórias observadas na figura e nas informações contidas na tabela, indique quais as partículas que constituem cada um dos feixes (A, B e C) e justifique a sua resposta.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 19 – Exercício 3

a) Considere as equações para a força centrípeta e para a força magnética, apresentadas a seguir:

$$F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$F_M = q \cdot v \cdot B$$

Conforme discutido anteriormente, a força magnética que atua sobre a partícula é a própria força centrípeta na trajetória circular descrita pela partícula, ou seja:

$$F_{cp} = F_M$$

Escreva a equação que relaciona o raio da trajetória com a massa da partícula em movimento, a velocidade, o valor de sua carga e a intensidade do campo magnético na região.

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 20 – Campo magnético gerado por correntes elétricas

Acesse o simulador *Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday*. Vá para a segunda pasta *Eletroímã* e, entre os ícones apresentados à direita, mantenha selecionados apenas os ícones *Mostrar bússola* e *Mostrar elétrons*. No botão de controle de voltagem, anule a tensão elétrica gerada (0 V), conforme a configuração da figura a seguir.



- Desloque a bússola para diferentes posições ao redor do circuito e observe o que acontece com o ponteiro da bússola;
- Desloque agora o botão de controle de voltagem para a direita, aumentando o valor da tensão da pilha. O que acontece com a bússola? Coloque a bússola em diferentes posições ao redor do circuito e observe atentamente o que acontecerá.

Descreva a seguir as suas observações, conforme as orientações dos itens anteriores:

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 21 – Campo magnético gerado por correntes elétricas: conclusões

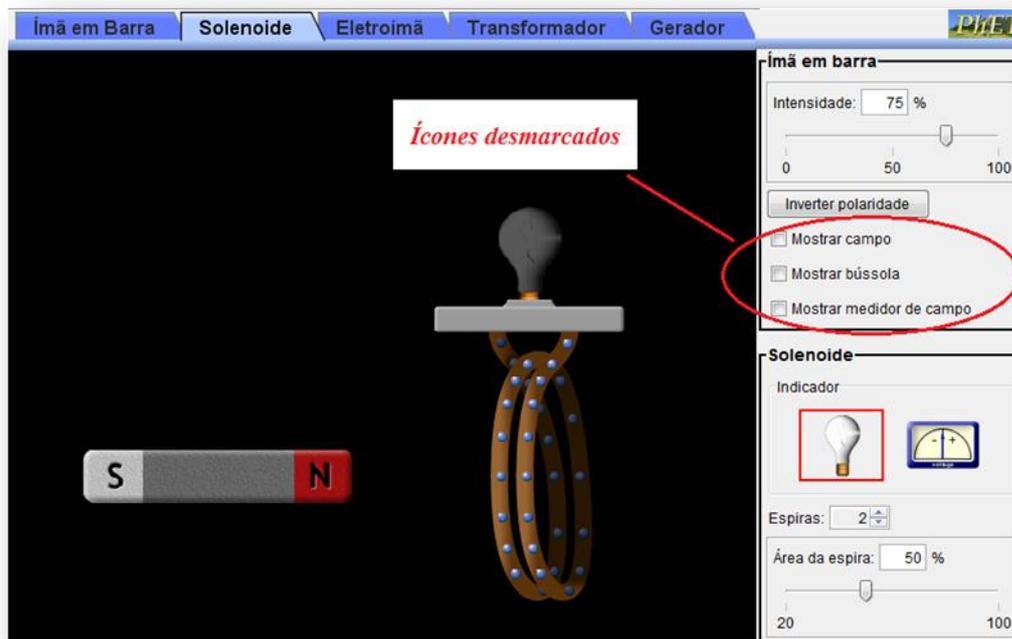
Inverta a polaridade da pilha (para isso, desloque o botão de controle de voltagem para a esquerda). O que acontece com a bússola?

Anule novamente a voltagem e compare o comportamento da bússola ao redor do circuito. Discuta com os colegas do grupo o que observaram e anote as suas conclusões. Na opinião de vocês, como podemos explicar tudo o que aconteceu?

Nº DO GRUPO	ALUNOS (AS)
	<hr/> <hr/> <hr/>

Atividade 22 – Corrente elétrica induzida

Acesse o simulador *Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday* e, em seguida, a pasta *Solenóide*. Mantenha os ícones à direita (*mostrar campo*, *mostrar bússola* e *mostrar medidor de campo*) desmarcados, obtendo uma configuração semelhante à da figura abaixo:



Movimente o ímã lentamente para direita, atravessando as espiras do solenoide. Em seguida retorne lentamente com o ímã para a posição inicial. Nas duas situações observe o que acontece com a lâmpada e anote a seguir:

Repita o movimento anterior de maneira mais rápida. O que acontece?
