

**EM Cage:
Experiências de Eletromagnetismo na
Sala de Aula**

António Casaca e Victor Oliveira



Índice

1 – Electricidade e Electrostática

- DEM 1.1: Carga eléctrica
- DEM 1.2: Eletroscópio de folhas
- DEM 1.3: Objetos voadores
- DEM 1.4: Campainha de Franklin
- DEM 1.5: Desvio mágico da água

2 – Magnetismo e força magnética

- DEM 2.1: Linhas de força do campo magnético
- DEM 2.2: Experiência de Oersted
- DEM 2.3: Motor eléctrico

3 – Lei de Faraday-Lenz

- DEM 3.1: Tubo de Faraday-Lenz
- DEM 3.2: Travão magnético
- DEM 3.3: Lanterna de Faraday

4 – Luz e espectros

- DEM 4.1: Reflexão e refração de um feixe de luz. Reflexão total
- DEM 4.2: Difração por uma fenda. Interferência fenda dupla
- DEM 4.3: Espessura de um cabelo
- DEM 4.4: Espectros de emissão

1 – Eletricidade e Eletrostática

DEM 1.1: Carga Elétrica

Objetivo: Demonstrar a existência de dois tipos de carga elétrica através da eletrização de plástico por fricção.

Material:

- 1 folha de plástico de bolha ou equivalente
- 1 pano de seda ou equivalente
- 3 tubos de plástico ou equivalente
- 1 suporte rotativo ou equivalente

Procedimento:

- Coloque um dos tubos no suporte rotativo e aproxime o outro. Mostre que não há alteração de movimento.
- Friccione os dois tubos de plástico com o pano de seda e coloque um deles em cima do suporte. Mostre que os tubos se repelem. Este movimento demonstra o aparecimento de uma força (elétrica) após a fricção com o pano. O aparecimento desta força deve-se à propriedade dos corpos a que chamamos carga elétrica (os tubos adquiriram ambos carga negativa).
- Friccione agora um dos tubos com o plástico de bolhas. Aproxime os tubos e mostre que se atraem. Esta mudança de movimento explica-se com o facto de existirem dois tipos de cargas elétricas: positivas e negativas. Neste caso o tubo friccionado com o plástico tem carga oposta (positiva).
- Procedimento extra: dependendo das condições em sala de aula, é possível mostrar que durante o processo de fricção há transferência de carga entre os materiais friccionados. Para mostrar este efeito, friccione um dos tubos e coloque-o no suporte. Aproxime o pano de seda do tubo e mostre que se atraem.

Conclusão:

Existem dois tipos de carga elétrica: cargas do mesmo tipo repelem-se, enquanto cargas de tipo diferente atraem-se.

DEM 1.2: Eletroscópio de folhas

Objetivo: Demonstrar o fenómeno da indução elétrica. Utilizar o eletroscópio de folhas para demonstrar a existência de dois tipos de carga elétrica através da eletrização de plástico por fricção e investigar a intensidade do campo elétrico.

Material:

- Eletroscópio de folhas.
- Folha de plástico de bolha ou equivalente.
- Pano de seda ou equivalente.
- 2 tubos de plástico

Procedimento/Explicação:

- Aproxime o tubo de plástico do eletroscópio e verifique que as suas folhas se mantêm estáticas. Friccione o tubo com o pano de seda e repita o procedimento anterior. As folhas separam-se! Repita os procedimentos anteriores utilizando outro tubo e o plástico de bolhas. Verifique que o efeito é o mesmo. A aproximação de um corpo eletricamente carregado ao disco metálico do eletroscópio provoca um deslocamento de cargas (indução elétrica). As folhas separam-se por possuírem cargas do mesmo sinal.
- Para demonstrar a existência de dois tipos de carga, comece por friccionar o tubo com o plástico de bolhas colocando-a de seguida sobre o eletroscópio. As folhas separam-se porque o tubo está carregado positivamente (e as folhas negativamente). Friccione agora outro tubo com o pano e aproxime lentamente do eletroscópio. Verifique que as folhas tendem inicialmente a regressar à posição de equilíbrio, voltando a separar-se quando o tubo já está próximo do eletroscópio.
- O campo elétrico do tubo friccionado com o pano de seda é originado pela carga negativa do tubo e por isso opõe-se ao campo criado pelo tubo friccionado com o plástico. Inicialmente, quando o tubo friccionado com o pano de seda se encontra longe do eletroscópio, o seu campo elétrico é pouco intenso, mas como se opõe ao campo criado no tubo friccionado com o plástico, as folhas tendem a fechar-se. Se aproximarmos cada vez mais o tubo, o seu campo irá aumentar até se tornar mais forte. Nesse instante, as folhas tenderão a separar-se novamente.
- Para investigar a intensidade do campo elétrico observe o deslocamento das folhas do eletroscópio quando se utiliza um balão em vez do tubo de plástico.

Custo em Portugal: Um eletroscópio pode ser adquirido por um preço aproximado de 20-30 Euros (veja por exemplo: <https://abcescolar.pt/collections/electroestatica/products/electroscopio-de-folhas-de-ouro-economico> ou <https://abcescolar.pt/collections/electroestatica/products/electroscopio-de-folhas-de-ouro>).

Em alternativa é possível construir o seu próprio eletroscópio (veja por exemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=2PmWIPjV6n0>).

DEM 1.3: Objetos voadores

Objetivo: Demonstrar o fenómeno da condução elétrica utilizando o Fun Stick.

Material:

- 1 Fun Stick
- Pedacos de alumínio.

Procedimento/Explicação:

O Fun Stick é um tubo de cartolina que contem no seu interior um dispositivo alimentado por duas pilhas de 1,5 volts, que permite acumular cargas elétricas na sua extremidade através do movimento de um elástico no seu interior.

- Comece por tentar descobrir qual a carga elétrica acumulada na extremidade do Fun Stick. Para isso reproduza a demonstração anterior substituindo um dos tubos pelo Fun Stick.
- Ative o Fun Stick e mantenha-o na horizontal esticando o braço. Coloque um pedaço de alumínio por cima do Fun Stick deixando que haja contacto entre os dois. O pedaço de alumínio flutua no ar!
- Quando se aproxima um pedaço de alumínio do Fun Stick dá-se a condução de eletrões de um para o outro. A carga negativa que se forma no Fun Stick é transmitida para o alumínio. Desta forma quer o alumínio quer o fun stick apresentam a mesma carga e por isso repelem-se. É então possível utilizar este efeito para fazer levitar o alumínio.

Custo em Portugal: O Fun Stick pode ser adquirido por um preço aproximado de 17 Euros (veja por exemplo: <https://pt.aliexpress.com/item/32942021801.html> ou https://www.wish.com/product/novel-magic-wand-electrical-levitation-fly-stick-magic-levitation-wand-toys-kids-gift-ryi-5c52b069a958dc7dc4646eac?hide_login_modal=true&share=web).

DEM 1.4: Campanha de Franklin

Objetivo: Demonstrar o funcionamento da chamada “campanha elétrica de Franklin” utilizando o Fun Stick.

Material:

- 1 Fun Stick ou equivalente
- 2 latas de refrigerante vazias.
- Fio e tubo de plástico.

Procedimento:

- Coloque uma das latas de refrigerante deitada, de modo a poder rolar livremente. Ative o Fun Stick e vá aproximando da lata. O Fun Stick atrai a lata! Na face virada para o Fun Stick, a lata acumula carga oposta à do Fun Stick por indução e por isso é atraída.
- Para construir o sino de Franklin, coloque as duas latas de pé lado a lado, não muito distantes uma da outra. Depois de retirar a tampa de uma das latas, prenda-a ao fio, e de seguida ao tubo de plástico. Posicione o tubo de plástico em cima de ambas as latas, de maneira que a tampa fique suspensa.
- Tocando com o Fun Stick numa lata e com o dedo na outra é possível pôr a tampa a oscilar alternadamente entre as latas, originando um som idêntico a de um sino.

Explicação:

A lata que está em contacto com o Fun Stick fica carregada negativamente, pois o Fun Stick passa eletrões para a lata, enquanto a outra lata mantém a sua carga neutra. A tampa é atraída para a lata carregada por indução. Assim que a tampa toca na lata recebe eletrões tornando-se negativa. Ao adquirir carga negativa, a tampa passa a ser repulsa pela lata carregada, deslocando-se até à lata neutra onde descarrega a carga em excesso. O processo repete-se até se desligar o Fun Stick.

Custo em Portugal: O Fun Stick pode ser adquirido por um preço aproximado de 17 Euros (veja por exemplo: <https://pt.aliexpress.com/item/32942021801.html> ou https://www.wish.com/product/novel-magic-wand-electrical-levitation-fly-stick-magic-levitation-wand-toys-kids-gift-ryi-5c52b069a958dc7dc4646eac?hide_login_modal=true&share=web).

DEM 1.5: Desvio mágico da água

Objetivo: Observar o desvio de um fio de água induzido por um objeto com carga elétrica.

Material:

- Fun Stick.
- Tubo de plástico ou balão e pano de seda.
- Garrafa com furo.

Procedimento:

- Depois de encher a garrafa de água, deixe a água verter pelo furo criando um fio de água.
- Friccione o tubo com o pano e aproxime-o do fio de água. Observe o que acontece: o fio de água é desviado do seu percurso sendo atraído pela palha.
- Repita o procedimento anterior utilizando agora o Fun Stick (ou balão). Como a carga do Fun Stick é significativamente superior à da palhinha, o desvio do fio de água é ainda mais intenso.

Explicação:

As moléculas da água são moléculas polares, com o centro das cargas negativas no oxigénio, dada a muito maior eletronegatividade apresentada por este elemento. Quando se esfrega o tubo com o pano de seda, este adquire carga negativa, gerando no espaço à sua volta um campo elétrico não uniforme. Como resultado deste campo, as moléculas da água ficam submetidas a uma força electroestática dirigida para a palhinha, que as leva a aproximar-se desta, dando origem à deflexão do fio de água.

2 – Magnetismo e força magnética

DEM 2.1: Linhas de força do campo magnético

Objetivo: Visualizar as linhas de força do campo magnético.

Material:

- Magnetes com diferentes formas
- 4 placas acrílicas com partículas ferromagnéticas
- Frasco com parafina e pó de ferro em suspensão

Procedimento:

- Colocar as placas acrílicas numa superfície plana e colocar os magnetes em cima das placas; observar o alinhamento das partículas em relação aos polos dos magnetes
- Rodar os magnetes para observar a mudança de orientação das partículas.
- Colocar as placas acrílicas em configuração 3D (2 paralelas à superfície, 2 perpendiculares à superfície, fazendo um L entre si); colocar um magnete em posição vertical, junto à aresta formada pelas placas.
- Colocar um magnete com o eixo paralelo ao frasco ou um par de magnetes em lados opostos do frasco e observar o movimento das partículas alinhando-se com os polos dos magnetes

Explicação:

As partículas ferromagnéticas vão alinhar-se segundo a direção do campo magnético gerado pelo magnete no espaço à sua volta. Este alinhamento permite visualizar as linhas de força do referido campo.

DEM 2.2: Experiência de Oersted

Objetivo: Observar a deflexão da agulha de uma bússola na proximidade de um condutor percorrido por uma corrente elétrica.

Material:

- 1 bússola
- 1 pilha AA de 1,5 V
- 1 fio condutor de cobre

Procedimento:

- Colocar a bússola numa superfície e deixar que a agulha desta se alinhe com o campo magnético terrestre no local.
- Colocar o fio condutor na vizinhança da bússola de tal modo que uma secção do condutor seja paralela à agulha da bússola.
- Tocar com as extremidades (descarnadas) nos polos da pilha e observar a deflexão da agulha da bússola.

Explicação:

Quando uma corrente elétrica percorre o condutor, este gera um campo magnético que, na sua vizinhança, é descrito por linhas de força circulares, com centro no eixo do condutor e perpendiculares a este. A montagem descrita resulta num campo magnético que, na vizinhança da agulha da bússola é perpendicular ao campo magnético terrestre; dada a muito maior intensidade do campo gerado pelo condutor, a agulha vai rodar até se alinhar com o campo gerado pelo condutor.

DEM 2.3: Motor elétrico

Objetivo: Construção de um motor elétrico simples.

Material:

- 1 pilha AA de 1,5 V
- 1 magnete de NdFeBo
- 1 parafuso
- 1 tacha
- 1 fio condutor (cobre)

Procedimento:

- Colocar o parafuso e a tacha nos polos opostos do magnete e suspender o conjunto do pólo positivo da pilha.
- Tocar com o fio de cobre no pólo negativo da pilha e na superfície lateral do magnete.

Explicação:

Ao ser fechado o circuito elétrico, a corrente elétrica fica submetida ao campo magnético do magnete. A força magnética resultante sobre a corrente dá origem a um binário em relação ao eixo do sistema, colocando em rotação o conjunto parafuso-magnete-tacha.

3 – Lei de Faraday-Lenz

DEM 3.1: Tubo de Faraday-Lenz

Objetivo: Demonstração da lei de Faraday-Lenz da indução eletromagnética.

Material:

- 1 tubo condutor não ferromagnético
- 1 magnete
- 1 corpo não magnético
- 1 tubo acrílico

Procedimento:

- Libertar sucessivamente, do topo do tubo não condutor, o corpo não magnético e o magnete; comparar os tempos de queda.
- Libertar sucessivamente, do topo do tubo condutor, o corpo não magnético e o magnete; comparar os tempos de queda.

Explicação:

O tempo de queda no interior do tubo condutor (e só deste) é significativamente maior do que o tempo de queda do corpo não magnético. O movimento do magnete em queda no tubo condutor, resulta numa variação do fluxo magnético nas paredes do tubo. Esta variação gera correntes induzidas nas paredes do tubo condutor, de acordo com a lei de Faraday-Lenz. As correntes induzidas, por sua vez, geram campos magnéticos que, ao interagirem com o campo magnético do magnete em queda, resultam numa força magnética sobre este de sentido contrário ao seu peso; o equilíbrio entre a força magnética e o peso, resulta num movimento uniforme do magnete no interior do tubo condutor, que se segue a um regime transitório, tanto mais breve quanto maior for a condutividade do condutor.

DEM 3.2: Travão magnético

Objetivo: Observar o efeito de travagem de um objeto condutor em movimento num campo magnético.

Material:

- 2 magnetes de NdFeB e respetivo suporte
- Pás de alumínio com diferentes perfis e respetivo suporte

Procedimento:

- Montar os magnetes no suporte respetivo por forma a que pólos opostos se enfrentem (pólos do mesmo tipo em oposição, resultariam num campo magnético nulo a meia distância entre os pólos).
- Colocar uma pá no suporte respetivo, de forma que o plano da pá esteja a igual distância dos dois magnetes.
- Libertar a pá e observar o efeito de travagem ao atravessar a região entre os pólos.
- Libertar sucessivamente as restantes pás, com diferentes perfis e observar a diminuição da eficácia do efeito de travagem à medida que os perfis vão apresentando menos alumínio.

Explicação:

Quando a pá se aproxima dos magnetes, a variação do fluxo magnético no alumínio condutor provoca o aparecimento de correntes elétricas induzidas na pá, de acordo com a lei de Faraday. O sentido da corrente induzida na pá, de acordo com a lei de Lenz, vai contrariar a variação de fluxo que lhe dá origem. Deste modo, a força magnética resultante sobre a corrente induzida tem sentido contrário ao movimento da pá, levando-a a parar.

DEM 3.3: Lanterna de Faraday

Objetivo: Observar o acender de um LED quando um ímã passa entre as espiras de uma bobina de fio condutor cujas extremidades se encontram ligadas ao LED.

Material:

- 1 tubo de plástico
- 1 ímã de NdFeB
- 1 LED de baixa potência
- 1 enrolamento de fio condutor (cobre) com um número de espiras adequado

Procedimento:

- Enrolar o fio condutor em torno do tubo de plástico e ligar as suas extremidades aos pinos do LED
- Colocar o ímã no interior do tubo de plástico, selando as extremidades deste para evitar que o ímã saia do tubo.
- Agitar o tubo por forma a que o ímã se desloque continuamente entre as extremidades do tubo e observar o acender do LED quando o ímã passa entre as espiras da bobina.

Explicação:

O movimento do ímã entre as espiras da bobina provoca uma variação do fluxo magnético através da área das espiras, que leva ao aparecimento de uma corrente elétrica induzida nas espiras, de acordo com a lei de Faraday. Sempre que esta corrente é gerada na bobina, o LED acende.

Nota: o número de espiras necessário é proporcional à tensão de funcionamento do LED utilizado. O diâmetro do ímã deve ser aproximadamente igual ao diâmetro interno do tubo de plástico.

4 – Luz e espectros

DEM 4.1: Reflexão e refração de um feixe de luz. Reflexão total.

Objetivo: Observar a reflexão e refração de um feixe de luz quando passa de um meio ótico para outro.

Material:

- 2 Garrafas com água
- Desinfetante
- Laser

Procedimento:

- Encha as garrafas de vidro com água até atingir metade da altura da garrafa.
- Acrescente algumas gotas de desinfetante
- Faça incidir o feixe na superfície da água. Observe a existência de um feixe refletido e de outro refratado.
- Faça incidir o feixe de luz lateralmente e observe o fenômeno de reflexão total.

Explicação:

Quando a luz que se propaga num meio atinge uma superfície que delimita outro meio, uma parte da luz é refletida alterando a sua direção e sentido de propagação, outra parte é transmitida para o segundo meio alterando a sua direção de propagação.

A reflexão total é o efeito que ocorre quando a radiação que incide numa superfície que delimita dois meios distintos não sofre refração, sendo totalmente refletido. A reflexão total ocorre quando o ângulo de incidência é superior a um determinado ângulo crítico e o raio incidente se dirige de um meio com maior índice de refração (água) para outro com menor índice de refração (ar).

DEM 4.2: Difração por uma fenda. Interferência fenda dupla

Objetivo: Observar o fenômeno de difração da luz por uma fenda simples/dupla.

Material:

- Pente
- Laser

Procedimento:

- Com fita adesiva preta tape parcialmente alguns dentes do pente de modo a obter uma fenda simples e uma fenda dupla.
- Alinhe o laser com o centro da fenda simples.
- Observe o padrão de difração obtido.
- Reduza a largura da fenda apertando os dentes do pente. Observe o efeito da largura da fenda no padrão de difração.
- Alinhe o laser com a fenda dupla. Observe a diferença do padrão relativamente ao caso da fenda simples.

Explicação:

Quando uma onda encontra uma fenda ou um obstáculo com dimensões semelhantes ao seu comprimento de onda verifica-se que as ondas encurvam junto das extremidades do obstáculo ou dos bordos da fenda, parecendo contornar os limites dos obstáculos deixando de se propagar retilineamente. Há assim um espalhamento da luz após atravessar o obstáculo. O espalhamento é tanto mais significativo quando menor for o obstáculo ou fenda.

No caso do obstáculo ser uma fenda única, o padrão de difração gerado é simétrico em torno de um máximo de intensidade e cujas posições dos mínimos de intensidade (zonas escuras) são dadas pela relação

$$a \sin \theta = m\lambda$$

onde a é o valor da abertura da fenda, θ é o ângulo formado pela linha central do padrão e a posição do m -ésimo mínimo, λ o comprimento de onda (c.d.o.) da radiação e m a ordem do mínimo ($m = \pm 1$ para os primeiros mínimos, $m = \pm 2$ para os segundos mínimos, etc.).

Quando a luz passa numa fenda dupla, o padrão de difração é composto por zonas escuras e claras adicionais. Neste caso dizemos que há interferência pois o padrão resulta da sobreposição de luz proveniente das duas fendas simples. São assim criadas duas ondas a partir de cada fenda que se irão sobrepor criando interferência construtiva ou destrutiva, o que resulta no aparecimento de franjas claras ou escuras extra, não visíveis no caso da fenda simples. A posição dos máximos ocorre quando

$$d \sin \theta = n\lambda$$

Onde d é a distância entre fendas e n um número inteiro.

DEM 4.3: Espessura de um cabelo

Objetivo: Determinar a espessura de um fio de cabelo através do estudo do padrão de difração gerado por um feixe de radiação laser incidente no fio.

Material:

- 1 fio de cabelo.
- Fita métrica.
- Laser.

Procedimento:

- Alinhe o laser com o centro da fenda variável.
- Observe o padrão de difração obtido.
- Meça a distância entre dois mínimos consecutivos.
- Determine a espessura do fio de cabelo utilizando a expressão $d = \frac{\lambda D}{y}$

Explicação:

Para calcular a espessura de um cabelo usa-se o Princípio de Babinet que afirma que os padrões de difração de objetos transparentes e opacos são idênticos, a menos da intensidade do máximo central, sempre que os objetos tenham dimensões iguais e formas complementares, i.e., sejam o negativo um do outro. Por exemplo, ao padrão de difração de uma abertura circular é semelhante ao padrão de um disco circular; o padrão de difração de uma fenda retangular é idêntico ao padrão de um anteparo retangular (e.g. um fio). Para valores de λ muito inferiores ao valor da abertura a , os primeiros zeros de intensidade correspondem a ângulos θ muito pequenos, sendo por isso válida a aproximação $\sin\theta \approx \tan\theta$. Da trigonometria básica verifica-se facilmente que $\tan\theta = y_m/D$, onde y_m é a distância medida no écran entre o centro do padrão e o m-ésimo mínimo e D a distância entre o fio e o écran. Desta forma, pode-se determinar a espessura de um cabelo usando a expressão anterior na forma

$$d = \frac{\lambda D}{y}$$

sendo y a distância entre dois mínimos consecutivos.

DEM 4.4: Espectros de emissão

Objetivo: Construir um espectroscópio para visualizar o espectro de emissão de luz proveniente de diferentes objetos.

Material:

- Tubo de cartão.
- 1 cd.
- Cartolina preta.
- Fita adesiva, cola e tesoura.

Procedimento:

- A partir da folha de cartolina, recorte duas tampas circulares com abas com diâmetro igual ao diâmetro da secção do seu tubo.
- Numa das tampas, faça uma fenda retangular de dimensões 2 cm x 1 mm. Na outra tampa, faça uma abertura no centro de dimensões 1cm x 1cm.
- Retire a película refletora (revestimento metálico) do cd utilizando a fita adesiva.
- Depois de retirada a película, recorte um pedaço de cd com formato retangular de dimensões 2cm x 2cm.
- Utilize preferencialmente as bordas, pois as linhas de gravação são mais paralelas, conseqüentemente, a imagem será melhor. É importante fazer uma marcação no pedaço recortado do CD para não esquecer em qual posição as linhas são paralelas.
- Cole as tampas no cilindro, deixando a fenda alinhada com a abertura. Fixe o pedaço recortado do CD na tampa com a abertura, usando fita isolante apenas nas bordas. O ideal é alinhar as linhas de gravação paralelamente à fenda do espectroscópio, pois assim as imagens que observaremos também estarão alinhadas com a fenda.
- Para evitar que a luz penetre no interior do tubo por eventuais frestas, utilize fita isolante para vedar os pontos de união entre o cilindro e as tampas.

Explicação:

Ao apontar a fenda para uma fonte de luz, "apenas" um raio de luz bem definido passará pela fenda e atingirá o cd. Ao atingir o cd, o raio de luz é difratado pelas linhas de gravação e separam-se as cores que compõem essa luz.