



.....
Daniel dos Anjos Silva^{1,2#} 

¹Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Afogados da Ingazeira, PE, Brasil.
.....

Palavras-chave

eletroscópio
eletrostática
física experimental
condutividade
ferramentas educacionais

Resumo

O eletroscópio foi um instrumento fundamental na história da eletricidade, essencial para descobertas que moldaram o entendimento da natureza. Associado ao efeito âmbar, seu uso é recorrente em salas de aula para demonstrar cargas elétricas. A construção de versões de baixo custo figura entre as atividades experimentais mais comuns no ensino de eletrostática, frequentemente apresentada em livros didáticos por meio de roteiros detalhados com materiais e instruções precisas. Entretanto, a execução desse experimento frequentemente fracassa, gerando frustrações e questionamentos sobre a competência experimental dos alunos. Este trabalho demonstra que as falhas nem sempre decorrem da habilidade dos estudantes, mas de aspectos negligenciados nos próprios roteiros - como a condutividade dos materiais, o método construtivo e o tipo de eletrização empregado. Após investigarem-se as condições ideais de funcionamento, apresenta-se um modelo simplificado, de baixo custo e alta eficiência, já adotado por pesquisadores nacionais. Esta proposta representa uma alternativa prática para o estudo desse instrumento histórico, assegurando maior confiabilidade nos resultados e eficácia didática.

1. Introdução

A pergunta que introduz o título deste artigo talvez não seja desconhecida para os professores que costumam realizar práticas experimentais com seus alunos, em particular aqueles que já realizaram a famosa tarefa de construção de um eletroscópio. Simples e fáceis de construir, esses equipamentos - que figuram entre

os primeiros utilizados para a detecção de carga elétrica em um corpo eletrizado - povoam os livros didáticos e fazem parte da memória curricular da eletrostática.

Simples e fáceis de construir, os eletroscópios – que figuram entre os primeiros instrumentos utilizados para a detecção de carga elétrica em um corpo eletrizado – povoam os livros didáticos e fazem parte da memória curricular da eletrostática

É comum que uma das primeiras atividades em eletrostática seja testar se um corpo está ou não eletrizado por meio do contato com um eletroscópio.

Frases como “eletrize uma régua de acrílico e aproxime-a da parte

Autor de correspondência. E-mail: d119269@dac.unicamp.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2025, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

superior de um eletroscópio”, “aproxime um corpo eletrizado por atrito de um eletroscópio...” e outras similares são frequentes na maioria dos livros didáticos de Ensino Médio que abordam eletricidade. Esses dispositivos, devido à simplicidade de explicação de seu funcionamento e à facilidade de construção, têm sido objeto de tarefas propostas aos alunos em livros didáticos do Ensino Médio, como em Bonjorno e Clinton [1] e Pietrocola e cols. [2], ou mesmo em obras de nível superior, como na Ref. [3]. Esses roteiros, em geral, utilizam materiais de baixo custo.

Ocorre que, muitas vezes, os alunos constroem o eletroscópio conforme sugerido nos roteiros mas não obtêm os resultados esperados. Esse descompasso, que em geral é atribuído à falta de habilidade técnica dos alunos,¹ pode, na verdade, estar relacionado aos materiais utilizados na construção e às suas características - principalmente no que diz respeito à condutibilidade, aspecto que frequentemente passa despercebido pelos próprios livros didáticos.

Neste trabalho, discutiremos o funcionamento de um eletroscópio, destacando suas características essenciais e analisando os fatores que fazem com que alguns eletroscópios não funcionem, mesmo quando construídos com cuidado. Além disso, apresentaremos um modelo de eletroscópio mais simples, barato e eficiente que o tradicional eletroscópio de folhas. Antes disso, porém, abordaremos brevemente a importância histórica desses instrumentos.

2. O eletroscópio na história da eletricidade

O eletroscópio foi um dos primeiros instrumentos para detectar a eletrização de um corpo, ao lado do efeito âmbar (a propriedade de corpos eletrizados de atraírem pequenos objetos) e do *versório* (provavelmente o primeiro detector de cargas elétricas), já comuns no início do século XVIII. Embora Alessandro Volta (1745-1827) e Walker (segundo Heilbron) [4, p. 412-421] tenham sido os primeiros a usá-lo como eletroscópio propriamente dito, a ideia do aparelho já aparecia nos trabalhos de Nollet [5], como mostra a Fig. 1.

O eletroscópio mais importante, tanto para a história da medição elétrica quanto para a didática, como mostraremos na seção seguinte, foi o eletroscópio de folhas, que já está presente na ideia de Nollet, representada na Fig. 1.

O eletroscópio foi essencial para os experimentos de Volta em sua disputa com Galvani sobre a “eletricidade animal”, ajudando-o a demonstrar que metais diferentes geram uma diferença de potencial [6]. No entanto, seu papel mais emblemático foi na descoberta dos raios cósmicos, abrindo novos caminhos para a física.

O eletroscópio não apenas auxiliou nos primórdios da eletricidade, mas também foi crucial para o surgimento de uma nova área da física que foi pioneira na pesquisa em física no Brasil: a física de raios cósmicos, que é sabidamente a área de pesquisa que deu início à nossa tradição, com Gleb Wataghin, na década de 1930

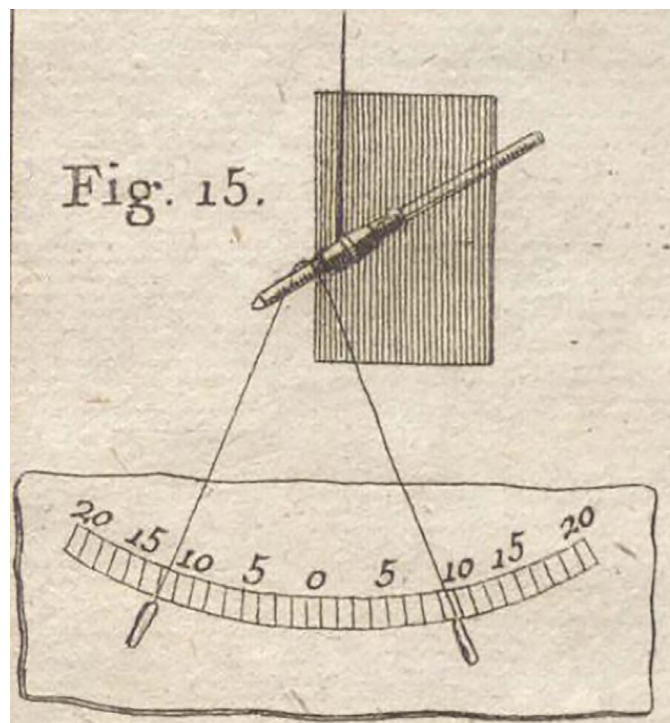


Figura 1 - Imagem que mostra o uso de um “eletroscópio” de duas pernas para realizar as primeiras quantificações elétricas. Fonte: *Lezioni di fisica sperimentale* tomo 6.

Quando eletrizado, o eletroscópio descarrega-se lentamente no ar, devido aos íons atmosféricos. Desde 1896, sabia-se que materiais radioativos, como os sais de urânio estudados por Henri Becquerel, emitiam radiação ionizante, aumentando a condutividade do ar. Os raios gama, por exemplo, ionizam átomos neutros ao interagir com eles.

No início do século XX, pesquisadores buscavam a origem dessa ionização. A hipótese mais aceita era que a radiação vinha de elementos radioativos no solo. Entretanto, Victor Franz Hess (1883-1964) provou, entre 1911 e 1913, que a radiação aumentava com a altitude. Usando eletroscópios aprimorados por Theodor Wulf, Hess realizou medições em balões, atingindo 5,3 km de altura. Ele observou que a radiação diminuía até cerca de 1 km, mas depois subia drasticamente, chegando ao dobro do nível terrestre a 5 km de altitude. Voos noturnos e durante eclipses confirmaram que o Sol não era a fonte. Hess concluiu que a radiação vinha do espaço, nomeando-a ultrarradiação [7].

Robert Millikan (Nobel de física em 1923) cunhou o termo raios cósmicos em 1925. Hess recebeu o Nobel em 1936 pela descoberta, dividindo-o com Carl Anderson, que descobriu o pósitron em 1932.

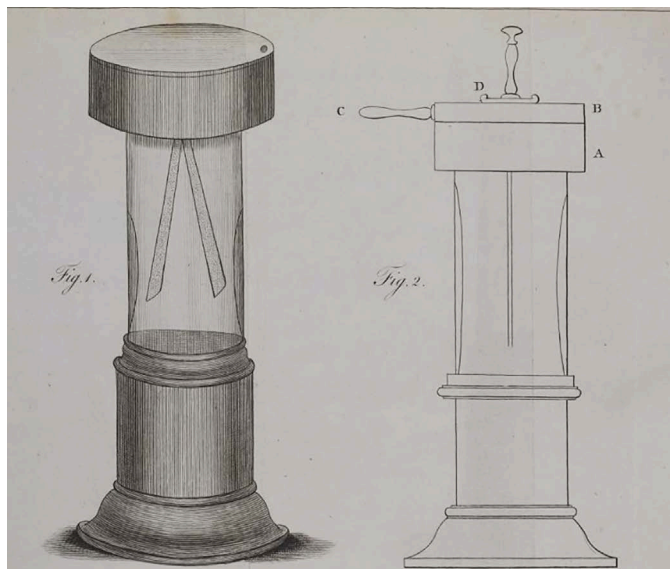


Figura 2 - Eletroscópio de folhas de ouro de Bennet, descrito pelo próprio Bennet em um artigo publicado na *Philosophical Transactions* da Royal Society em 1787.

Assim, o eletroscópio não apenas auxiliou nos primórdios da eletricidade, mas também foi crucial para o surgimento de uma nova área da física que foi pioneira na pesquisa em física no Brasil: a física de raios cósmicos, que é sabidamente a área de pesquisa que deu início à nossa tradição, com Gleb Wataghin, na década de 1930 [8].

3. O velho conhecido

De todos os modelos de eletroscópios que aparecem nos livros didáticos, o mais emblemático é, sem dúvida, o eletroscópio de folhas, que em grande medida desce do eletroscópio de folhas de Abraham Bennet (1750-1799) [9], (Fig. 2).

Esse modelo é tão popular que figura em praticamente todas as coleções de física aprovadas pelo PNLD desde 2019, seja em explicações teóricas, questões ou atividades práticas. Sua representação clássica mostra uma garrafa de vidro com uma rolha, atravessada por um fio condutor que se dobra no interior, sustentando duas finas lâminas de alumínio - ou uma única folha dobrada (Fig. 3).

O princípio de funcionamento baseia-se em três elementos essenciais: uma base condutora (como uma esfera metálica externa) (α), um sensor móvel (as lâminas internas) (β) e um suporte isolante (a rolha e o vidro) (γ). Quando um corpo carregado - por exemplo, negativamente - aproxima-se da esfera (α), as cargas negativas são repelidas para as lâminas (β). Como ambas adquirem o mesmo sinal, afastam-se, revelando a presença de eletricidade estática (Fig. 4a). Se houver contato direto, parte das cargas pode ser transferida para o eletroscópio, fazendo com que as lâminas per-



Figura 3 - Modelo de eletroscópio apresentado nos livros didáticos. Fonte: <https://www.arborsci.com/products/electroscope>.

maneçam afastadas mesmo após a remoção do objeto (Fig. 4b).

Esse comportamento simples mas eficaz ilustra conceitos fundamentais como indução eletrostática e conservação de carga, consolidando esse modelo como uma ferramenta didática indispensável desde o Ensino Médio até os laboratórios universitários iniciais ou mesmo em um famoso manual de eletromagnetismo como [3, p. 193].

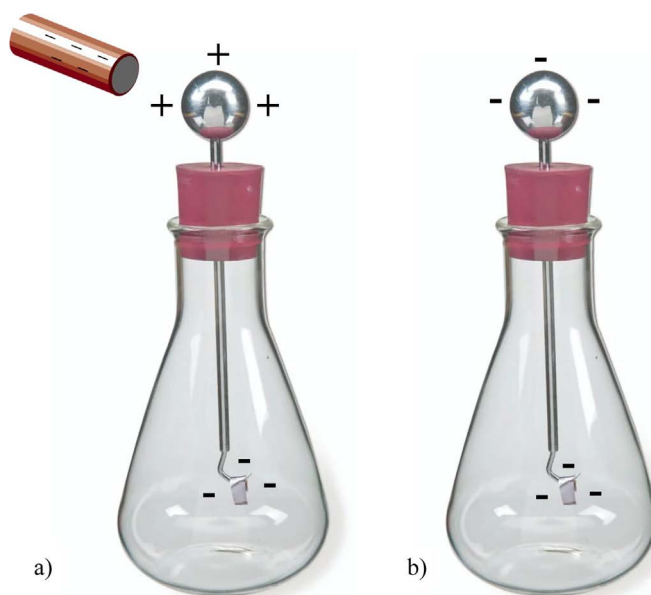


Figura 4 - (a) Processo de carga de um eletroscópio ao aproximar-se um corpo carregado negativamente. (b) Eletroscópio carregado negativamente.

4. Problemas na construção dos eletroscópios

Segundo as discussões realizadas nesses livros, em tese, o eletroscópio funcionaria perfeitamente. O que ocorre, porém, é que muitas vezes, durante a construção pelos estudantes, algumas questões importantes passam despercebidas - e, quando esses elementos essenciais não são observados, resultam em eletroscópios que simplesmente não funcionam. Além disso, existem certos pressupostos sobre condutividade assumidos pelos autores de livros didáticos que, segundo pesquisas recentes [10-12], mostram-se equivocados e podem induzir os estudantes ao erro.

Os principais problemas que levam ao mau funcionamento do eletroscópio são basicamente dois: (a) o peso excessivo das folhas metálicas, juntamente com a maneira como elas são dispostas no aparelho e (b) a condutividade inadequada do suporte isolante.

Quanto ao peso das lâminas, é crucial notar que nem todo papel alumínio tem a mesma espessura. Se o material escolhido for muito grosso e for colocado dobrado, mesmo quando carregado eletricamente, a força de repulsão pode não ser suficiente para afastar adequadamente as folhas. O mais recomendado é não utilizar uma única lâmina dobrada ao meio, como comumente se faz, mas sim duas lâminas separadas, unidas por uma linha de costura fina. Isso facilita seu movimento e garante maior sensibilidade.

O outro problema diz respeito à condutividade dos materiais que compõem o suporte isolante: a rolha e a garrafa. Em primeiro lugar, embora muitos livros didáticos simplesmente mencionem “rolha” - e os desenhos sugiram a cortiça -, esse não é um material isolante do ponto de vista eletrostático. A condução de eletricidade em um corpo depende de uma série de fatores, entre eles as características químicas do material que o constitui, condições ambientais e, principalmente, a tensão aplicada. Os metais, que tomamos como excelentes condutores, podem ter sua capacidade de condução reduzida devido à temperatura, por exemplo. Um material tradicionalmente isolante, na presença de umidade, pode ter formada em sua superfície uma fina película condutora e mudar seu comportamento em relação à condução de eletricidade. Um fator importante, entretanto, para avaliar o comportamento condutivo de um corpo, é a tensão sobre ele aplicada, uma discussão que muitas vezes fica de fora dos livros.

O moderno entendimento sobre a condutividade dos materiais é chamado de *teoria de bandas*, que é abordada em manuais como [13, 14]. Essa abordagem estabelece a existência dessas bandas de energia, que seriam uma espécie de “região” determinada pela quantidade energética que os elétrons podem ocupar e onde podem se movimentar. Seria o equivalente ao que conhecemos como camadas para os átomos, mas

Embora muitos livros didáticos simplesmente mencionem "rolha" - e os desenhos sugiram a cortiça -, ela não é um material isolante do ponto de vista eletrostático

estendido para um conjunto de átomos ligados e não a um único átomo. As bandas onde se localizam os elétrons mais energéticos de cada material são chamadas de *banda de valência* e a banda onde os elétrons possuem liberdade para se movimentar é chamada de *banda de condução*.

Sucintamente, o diagrama (Fig. 5) representa a distribuição das bandas de energia para três tipos de sólidos comuns: cristais metálicos, semicondutores e sólidos moleculares.

Nos metais, a banda de valência (BV, representada em verde) interpõe-se à banda de condução (BC, representada em verde abacate), ou seja, os elétrons ocupam essa região e nela possuem liberdade de movimentação. Os semicondutores possuem uma pequena região energética entre a banda de valência e a banda de condução, que é chamada de *banda proibida* (BP, representada em vermelho). Em outras palavras, para que ele comece a se comportar como condutor, é necessário vencer uma barreira energética, representada na figura pela seta tracejada (E, em azul). Para os sólidos moleculares, categoria onde se encontra boa parte dos materiais classificados como isolantes, a banda proibida é significativamente grande; entretanto, com a quantidade de tensão adequada, ela pode ser vencida. Essa barreira energética varia de material para material. Em materiais como palha seca, papel, algodão, madeira, marfim, cortiça etc., a banda proibida seria muito menor do que em outros materiais como plástico, acrílico, a maior parte das borrachas, resinas, piche, ebonite etc. Os materiais em que essa barreira é menor, como os exemplos citados, foram usados em diversas experiências no início da eletricidade como materiais condutores, ou *condutores imperfeitos*.

Para tensões eletrostáticas comuns nessas experiências (da ordem de milhares de volts), a cortiça com-

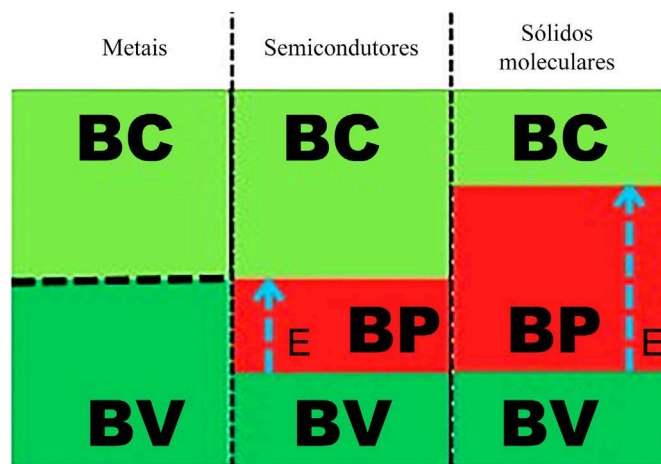


Figura 5 - Diagrama de bandas para metais, semicondutores e sólidos moleculares.

porta-se como um condutor. Esse fato tem relevância histórica, pois foi justamente essa característica que permitiu a Stephan Gray, em 1736, descobrir a diferença entre condutores e isolantes. Ele observou que uma rolha de cortiça em um tubo de vidro adquiria propriedades atrativas sem ter sido eletrizada diretamente [7].

Por sua vez, os vidros comuns também não são bons isolantes para aplicações eletrostáticas. Apesar da tradição histórica que consagrou o vidro como isolante, estudos recentes, em particular [11], demonstram que os vidros modernos, diferentemente dos antigos, se comportam como condutores para tensões eletrostáticas comuns nessas experiências.

Imagine então um estudante que constrói seu eletroscópio seguindo as instruções simplificadas dos livros: usando uma rolha de cortiça e uma garrafa de vidro comum. Nesse caso, tanto a base quanto o sensor, que estão em contato com a cortiça (por sua vez em contato com o vidro), acabam criando um caminho condutor inadvertido - efetivamente aterrando o sistema e impedindo seu funcionamento adequado, já que o eletroscópio não permanece eletrizado.

5. O “demônio dos detalhes”

Para garantir o bom funcionamento desse tipo clássico de eletroscópio, algumas precauções são essenciais:

- As lâminas de papel alumínio devem ser as mais finas possíveis, e preferencialmente duas folhas separadas unidas por linha de costura de algodão, em vez de uma única lâmina dobrada.
- Para o corpo do eletroscópio, deve-se evitar o uso de garrafas de vidro comum, optando por materiais como plástico ou acrílico, que são verdadeiramente isolantes.
- Caso se use vidro, a rolha deve ser substituída por uma tampa de plástico ou outro material comprovadamente isolante - a cortiça deve ser evitada.
- Outra solução eficaz é utilizar fio de cobre encapado, deixando expostos apenas os trechos que farão contato com a esfera superior e com as lâminas.
- Dias úmidos podem causar a descarga quase instantânea do eletroscópio, dando a impressão de não funcionar. Nesses casos, estar em uma sala com ar condicionado (se possível) pode ajudar.

Esses cuidados simples podem fazer toda a diferença entre um experimento frustrante e uma demonstração eficaz dos princípios da eletrostática.

6. O eletroscópio brasileiro

Por fim, apresentaremos um novo modelo de eletroscópio, denominado *eletroscópio brasileiro* no material suplementar de [11], por ser utilizado por uma tradição de autores brasileiros há algum tempo. Esse modelo pode ser encontrado em trabalhos como [2, 12, 15, 16], entre outros. Trata-se de um dispositivo muito

mais barato, fácil de construir e, muitas vezes, mais eficiente do que o modelo consagrado discutido anteriormente.

O eletroscópio em questão é feito de papel, que, apesar de geralmente ser considerado um isolante pela maioria dos livros-texto, funciona como um material condutor para tensões eletrostáticas (ou seja, para tensões da ordem de milhares de volts). Apresentamos os materiais necessários, o procedimento de construção e o processo de carregamento de um dispositivo desse tipo.

6.1. Etapa 1: construção dos elementos do eletroscópio

Os elementos do eletroscópio são quatro (Fig. 6): (a) a base (um retângulo de papel), (b) o sensor de cargas (uma tira de papel), (c) o suporte isolante (um canudo plástico de refrigerante) e (d) o suporte de sustentação (copos plásticos descartáveis de 20-30 mL, com um prendedor metálico fixado virado para cima, preenchido com gesso).

A base do eletroscópio pode ser feita de papelão, cartolina ou qualquer tipo de papel que seja resistente e firme. Deve-se cortar um retângulo medindo 10 cm de altura por 6 cm de largura.

O sensor de carga elétrica é uma tira de papel sensível e leve, que se mova com facilidade, como papel de seda ou papel vegetal. Ela deve ser fina (em torno de meio centímetro de largura) e ter 6 cm de comprimento, proporcional à base.

Para facilitar os experimentos, recomenda-se construir um suporte para o eletroscópio. Esse suporte pode ser feito de várias maneiras, desde que seja rígido e estável. Uma sugestão é usar pequenos copos plásticos descartáveis (20-30 mL). Faz-se um furo na base e um colchete (tipo bailarina) atravessa o furo. Em seguida o copinho é preenchido com gesso. Após o endurecimento do gesso, coloca-se o copo com o colchete voltado para cima, permitindo a fixação de um canudo de plástico.

Outras opções de suporte incluem pedaços de madeira com pregos, isopor, plástico ou rolhas de vinho (de cortiça) com parafusos ou pregos. O objetivo é garantir que o suporte sustente o eletroscópio adequadamente e o mantenha estável.

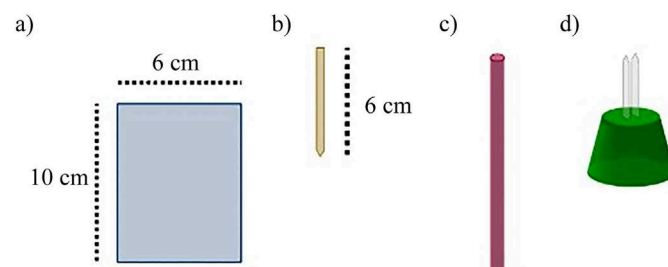


Figura 6 - elementos do eletroscópio brasileiro.

6.2. Etapa 2: montagem do eletroscópio

A tira de papel pode ter uma extremidade pontiaguda na parte inferior (opcional) e deve ser fixada com uma pequena quantidade de cola líquida ou fita adesiva. O importante é que a tira fique em contato direto com a base do eletroscópio (Fig. 7a).

O suporte que sustenta o eletroscópio geralmente é feito com um canudo de plástico, como os utilizados para refrigerantes. Esse canudo é colado na parte de trás do retângulo (no lado oposto ao da tira de papel), usando um pedaço de fita adesiva de forma a garantir sua estabilidade (Fig. 7b). É essencial que o tubo usado seja feito de material isolante, como o plástico. O eletroscópio completo pode ser visto na Fig. 7c.

6.3. Etapa 3: carregando o eletroscópio

O procedimento para eletrizar esse eletroscópio, que indica com precisão a presença de cargas, apesar do uso de materiais simples, está ilustrado na Fig. 8, onde representamos o processo de carga com cargas negativas.

Eletrizamos um canudo de plástico separadamente, esfregando-o com um pano de seda, um pano de algodão ou uma folha de papel. Uma vez carregado, deslizamos o canudo sobre um ponto de α (isto é, raspando a borda superior da cartolina com o canudo eletrizado), seguindo o movimento indicado pelo vetor na Fig. 8a. As cargas acumuladas no canudo de plástico durante o deslizamento são transferidas para a base de papel e espalham-se por toda a sua superfície. Parte dessas cargas desloca-se para a tira de papel, que é repelida pela base, já que ambas possuem cargas de mesmo sinal.

A Fig. 8b representa o eletroscópio carregado após o processo, sem indicar o sinal das cargas. A Fig. 8c é uma foto real do processo de carregamento.

7. Considerações finais

A construção e o uso do eletroscópio no ensino de eletricidade continuam sendo estratégias pedagógicas valiosas, desde que os detalhes técnicos não sejam negligenciados. Este trabalho mostra que muitos insucessos relatados por estudantes não decorrem de falta

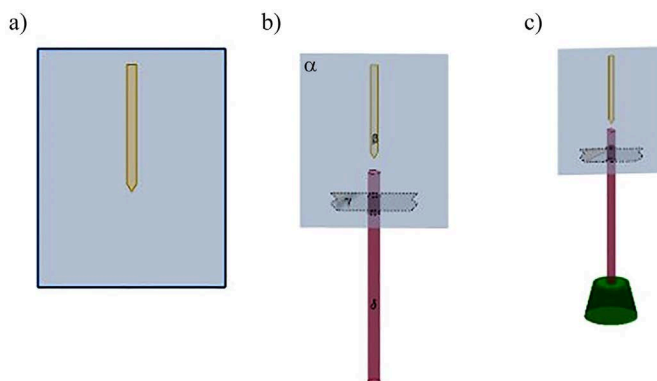


Figura 7 - Etapas da construção do eletroscópio.

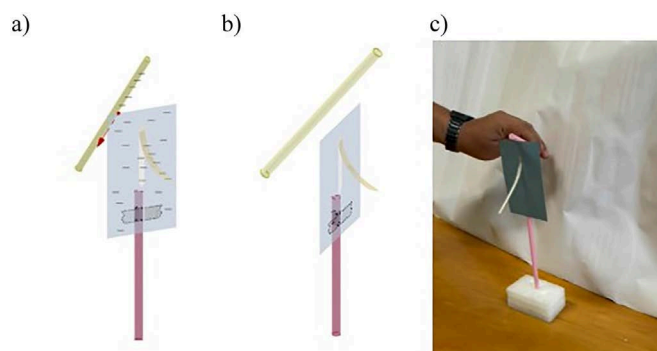


Figura 8 - Processo de carregamento do eletroscópio em modo esquemático e carga de um eletroscópio real.

de habilidade, mas sim de orientações imprecisas nos roteiros didáticos e da escolha inadequada de materiais. Ao revisar conceitos como condutividade eletrostática e ao propor um modelo alternativo - o *eletroscópio brasileiro* -, demonstramos que é possível construir dispositivos eficazes com materiais simples e acessíveis. Com isso, promovemos não apenas melhores resultados experimentais, mas também uma compreensão mais sólida dos princípios da eletrostática e talvez a fuga da famigerada pergunta “por que o meu eletroscópio não funciona?”.

Recebido em: 16 de Abril de 2025

Aceito em: 30 de Julho de 2025

Nota

¹Essa informação é baseada na experiência pessoal do autor e de vários colegas professores com que o autor dialoga e discute problemas característicos da prática do ensino de física.

Referências

- [1] J. Bonjorno, M. Clinton, *Física: Ensino Médio* (Moderna, São Paulo, 2016).
- [2] M. Pietrocola, A. Pogibin, R. Andrade, T.R. Romero, *Física em Contextos, Volume 3: Ensino Médio* (Editora FTD, São Paulo, 2010).
- [3] K.D. Machado, *Eletromagnetismo: Volume 1* (Toda Palavra Editora, Curitiba, 2012).
- [4] J.L. Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics* (University of California Press, Berkeley, 1979).
- [5] J.A. Nollet, *Lezioni di Fisica Sperimentale, Volume 1* (Nabu Press, 2012).
- [6] M. Piccolino, M. Bresadola, *Shocking Frogs: Galvani, Volta, and the Electric Origins of Neuroscience* (Oxford University Press, Oxford, 2013).

- [7] A.K.T. Assis, *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade: Volume 1* (Apeiron, Montreal, 2010).
- [8] S. Schwartzman, *Um Espaço para a Ciência: A Formação da Comunidade Científica no Brasil* (Editora Unicamp, Campinas, 2015), 4ª ed.
- [9] A. Bennet, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **77**, 26 (1787).
- [10] D. Silva, M. Leone, M. Rinaldo, in: *Anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Niterói, 2025.
- [11] D. Silva, M. Leone, M. Rinaldo, *Physics Education* **60**, 025003 (2025). [doi](#)
- [12] A.K.T. Assis, *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade: Volume 2* (Apeiron, Montreal, 2018).
- [13] R.M. Eisberg, R. Resnick, *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas* (Livraria da Física, São Paulo, 1979).
- [14] C. Kittel, *Introdução à Física do Estado Sólido* (LTC, Rio de Janeiro, 2006), 8ª ed.
- [15] A. Gaspar, *Experiências de Ciências* (Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [16] N. Ferreira, *Plus et Moins: Les Charges Électriques, Qu'est-ce que c'est?* (Éditions Ophrys, Paris, 2002).