



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Monografia para Licenciatura em Física

**Construção de uma sequência didática sobre
a aplicação de um eletroscópio para alunos
do ensino médio.**

Acadêmico: Gabriel Tolardo Colombo

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Maringá, 27 de março de 2023



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Monografia para Licenciatura em Física

**Construção de uma sequência didática sobre
a aplicação de um eletroscópio para alunos
do ensino médio.**

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, sob orientação do professor Dr. Breno Ferraz de Oliveira, como parte dos requisitos para obtenção do título de licenciado em Física

Acadêmico: Gabriel Tolardo Colombo

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Maringá, 27 de março de 2023

Sumário

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Introdução	1
1 Considerações sobre a sequência didática	2
1.1 A função do ensino e suas ramificações	2
1.2 Relações interativas: o papel do professor e do aluno	3
1.3 A organização social da classe	4
1.4 A organização dos conteúdos	4
1.5 Os recursos didáticos	5
1.6 A avaliação	5
2 Relembrando a eletrostática	7
2.1 O conceito de carga e a Lei de Coulomb	7
2.2 O campo elétrico	9
2.3 O potencial elétrico	12
2.4 A simplificação dos conceitos	14
3 A construção da sequência didática aplicada ao ensino da eletrostática	18
3.1 Primeira aula	18
3.2 Segunda aula	19
3.3 Terceira aula	20
3.4 Quarta aula	21
3.5 Quinta aula	21
3.6 Sexta aula	22
3.7 Sétima aula	23
3.8 Resultados e análise da sequência de aulas	23
Considerações finais	30
A Série Triboelétrica	31
B Montagem e utilização do eletroscópio	33
C Sugestão de montagem simplificada	42
Referências Bibliográficas	46

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de deixar registrado os meus mais sinceros agradecimentos, respeito e admiração ao meu orientador Breno Ferraz de Oliveira, por contribuir com toda a orientação necessária para a conclusão dessa etapa importante da minha vida. Além de todo o apoio, ajuda financeira necessária para o desenvolvimento deste trabalho, e conselhos pessoais, o professor Breno proporcionou o ambiente e as condições necessárias para a realização de uma atividade singular na formação dos estudantes alvo deste trabalho, permitindo que eles tivessem uma experiência certamente inovadora e inesquecível. Gostaria de destacar ao orientador que, sua forma de ensinar, disponibilidade e apoio são extraordinários. Tenho orgulho em dizer que fui seu orientando e, mais do que isso, tenho orgulho em passar adiante todos os seus ensinamentos e carregá-los como sua herança para as gerações futuras, de tal forma, que jamais deixarão de existir. Ressalto também, a importância de todos os professores que fizeram parte da minha formação, e puderam contribuir com toda a sua experiência para a maneira com a qual eu enxergo o mundo. Todas essas influências contribuíram para formar quem eu sou hoje, e serei grato em carregá-las adiante.

Não posso deixar de agradecer aos meus pais Noel Colombo e Simone Alves Tolardo Colombo, por sempre incentivarem e contribuírem para que eu alcançasse os meus sonhos, possibilitando, cada um, da forma que podia, o meu desenvolvimento enquanto graduando da Universidade Estadual de Maringá.

Agradeço à todos os meus amigos e familiares, que sempre estiveram comigo, desde antes de eu ingressar no ambiente acadêmico até a conclusão desta etapa. É de destaque, a contribuição e o compartilhamento de experiências do meu primo Leonardo R. Tolardo, que por ser mais velho e já ter passado por uma formação no ensino superior da mesma universidade, sempre me explicou e alertou sobre a importância de, desde cedo, estudar com muita dedicação os componentes curriculares, bem como da minha namorada Geovana J. O. Gonçalves e dos meus amigos e veteranos de curso Jhonatan W. Berrar e Vitor H. Ribeiro que, durante a minha formação, sempre estiveram comigo e me ajudaram nos momentos de dúvidas e incertezas, a compreender os conceitos mais abstratos do curso de física.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, com o início, permanência e conclusão desse período de graduação. Vocês todos ajudaram a construir uma parte importante da minha história, que será eternizada para sempre em minha mente.

Resumo

Atualmente, vivemos em um mundo extremamente tecnológico, e que vem se desenvolvendo cada vez mais. Todas as mudanças causadas por essa atmosfera repleta de tecnologia interfere drasticamente no ambiente escola, de tal forma que, são necessárias mudanças na maneira de lecionar, para acompanhar a nova e desenvolvida sociedade que vivemos. Nessa perspectiva, propusemos uma sequência de aulas envolvendo a experimentação como recurso capaz de permitir o desenvolvimento do raciocínio e expertise dos alunos, de tal forma que se tornem indivíduos pensantes, capazes de encarar a sociedade rápida e tecnológica que vivemos, e não, se tornarem escravos de toda essa tecnologia.

Palavras chave: Experimento, tecnologia, desenvolvimento.

Introdução

Atualmente, carregamos um modelo educacional proveniente da Era Vargas, uma educação focada na geração de mão de obra qualificada e ensino técnico, proposta com o intuito de acompanhar o desenvolvimento industrial, oferecendo aos alunos muito pouco, ou nenhum, pensamento crítico. A este modelo de educação, denominado educação bancária, Paulo Freire faz inúmeras críticas [1] devido ao fato de que é imposto sobre os educandos, desde cedo, a presença quase que autoritária de um professor, visto como superior, enquanto que os estudantes, por sua vez, vistos como inferiores. Nesse contexto, os alunos são seres passivos, apenas recebem as informações e não possuem direito a fala, são vistos como uma folha em branco a ser preenchida pelo conhecimento proveniente do docente.

Entretanto, a sociedade do século XXI é representada por um abrupto desenvolvimento tecnológico [2], e, para que os futuros membros dessa sociedade não perpetuem a postura passiva da educação bancária e acabem se tornando escravos das ferramentas tecnológicas, é necessário uma educação capaz de transformar o estudante em um indivíduo pensante, consciente do mundo que vive e não apenas aceitar e se limitar àquilo que o professor ensina no modelo da educação bancária. Nesse sentido, a experimentação em sala de aula pode vir como uma forma de abrir os olhos dos alunos [3] diante do mundo e permiti-los buscar conhecimento por si só, ao tentar explicar um fenômeno antes não conhecido.

Para isso, uma sequência de aulas deve ser preparada e organizada de maneira específica com o intuito de excitar a curiosidade e criar as condições ideais para que os alunos se desenvolvam [4]. Esses aspectos podem ser obtidos inserindo a experimentação como incentivo ao pensamento ativo, bem como toda a sua análise, a fim de proporcionar reflexões sobre o fenômeno observado, tornando possível atingir o potencial máximo dos alunos. Além disso, garantindo que eles, ao se depararem com um problema em questão, sejam capazes de explorá-lo e buscar formas de explicá-lo, com o propósito de desenvolver uma postura crítica e ativa, tal qual a sociedade tecnológica que vivemos espera deles.

Toda a teoria, conceitos, aspectos, considerações importantes e embasamento teórico acerca da construção da referida sequência didática serão abordados no [capítulo 1](#). No [capítulo 2](#), iremos relembrar todos os conceitos físicos (de maneira fundamental) relacionados ao experimento em questão, e que podem ser ensinados aos alunos por meio deste. Para isso, uma seção será feita trazendo uma simplificação desses conceitos com o intuito de torná-los aplicável aos educandos do terceiro ano do ensino médio. E, por fim, no [capítulo 3](#), a sequência de aulas será finalmente construída, expondo os respectivos objetivos a serem atingidos por meio dela e como alcançá-los. As considerações finais, perspectivas futuras e conclusões sobre os objetivos deste trabalho, encontram-se apresentadas na seção [considerações finais](#).

Capítulo 1

Considerações sobre a sequência didática

Tendo em vista a importância da escola para a formação profissional, social e cultural dos alunos e, diante do momento de mudanças (principalmente no âmbito científico e tecnológico), que vivemos, é inimaginável pensar que o ambiente escolar não será afetado. Por esse motivo, novas metodologias de ensino devem ser desenvolvidas para que a escola cumpra o seu objetivo com excelência: o de preparar os estudantes para a vida.

Além disso, vinculado à essa preparação que a escola deve fornecer, existe uma dificuldade muito grande, por parte dos alunos, nos conhecimentos exatos [5], para isso, o uso de metodologias novas tornam-se ainda mais cruciais. Nesse contexto, Antoni Zabala explica que a ordenação articulada de atividades representa o primeiro passo em busca dessa metodologia, mas para prepará-las, algumas perguntas surgem, tais como: qual a melhor forma de preparar as tarefas, de modo que os alunos tirem o melhor proveito delas? Quais pontos devem ser levados em conta na preparação? A preparação das atividades muda de acordo com o tipo de conteúdo envolvido? Quais são os tipos de atividades existentes?

Todas essas perguntas, e outras, são abordadas pelo autor em seu livro, cuja compreensão é fundamental para a construção da sequência didática de aulas que, ao ser aplicada, levando em conta o contexto atual da educação, possa garantir que os professores cumpram com o seu papel social para com os alunos. Em outras palavras, deve-se entender como montar uma sequência didática, os principais pontos a serem analisados, para só então construir a sequência levando em conta cada um de seus parâmetros juntamente com o conhecimento científico necessário que será abordado com os alunos.

Neste capítulo, começaremos trazendo os principais pontos que o autor comenta em seu livro, para que sejam utilizados na construção da sequência didática. Dentre esses pontos estão inclusos o papel do ensino, bem como todos os seus pormenores; além disso, é ressaltado pelo autor ainda como a classe deve estar organizada, de acordo com o tipo de atividade a ser preparada; como as atividades devem ser preparadas, conforme o tipo de conteúdo; os recursos didáticos disponíveis para serem utilizados e, por fim, a forma de avaliar os alunos.

1.1 A função do ensino e suas ramificações

Segundo a Constituição Federal de 1988 [6], a educação deve visar o pleno desenvolvimento do educando, bem como seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho, assim, decorre do ambiente escolar, não só o dever de cumprir com as

competências da BNCC ¹, mas também de proporcionar uma reflexão profunda e permanente da condição de cidadania dos alunos, e da sociedade em que vivem, ao passo que, ao se encontrar cada vez mais moderna, causa implicações nos métodos pedagógicos.

Ao entender porque se deve ensinar, e quais objetivos devem ser cumpridos, é fundamental abordar a ideia de como ensinar, que está veiculado, por sua vez, com a ideia de aprendizagem dos alunos. Para construir um processo de aprendizagem útil, é necessário se ater às particularidades e pré-conceitos que cada aluno carrega consigo. Nesse sentido, a sequência de aulas deve ser baseada no construtivismo, cuja validade é verificada empiricamente através de uma série de princípios psicopedagógicos e, através desse processo, é possível desenvolver as ideias e objetivos das atividades em toda a sua amplitude.

Ainda com relação a aprendizagem, necessitamos de entender agora o que ensinar, ou seja, quais atividades devem ser passadas para os alunos para que a escola, por meio da educação, atinja seus objetivos na formação do indivíduo. Sob esse viés, cada conteúdo possui um objetivo específico, de modo que, quando somados em uma sequência de aulas, contemplem toda a vastidão de uma pessoa. Para garantir toda essa abrangência, os conteúdos precisam ser separados em: factual e conceitual (o que se deve aprender do conteúdo, propriamente dito), procedimental (o que se deve fazer durante o desenvolvimento do conteúdo) e atitudinal (como se deve ser, enquanto futuro membro da sociedade).

1.2 Relações interativas: o papel do professor e do aluno

O autor ressalta a importância das relações que se estabelecem entre o aluno e o professor no processo de ensino aprendizagem. Isso vai de encontro com o que Paulo Freire propõe, assim, dentro de um ensino construtivista, distanciando-se da educação tradicional positivista, o professor examina a natureza dos diferentes conteúdos e, fazendo uso de estratégias e recursos didáticos convenientes, ajuda a construir o conhecimento com os alunos respeitando as características e particularidades de cada um, tudo isso almejando a formação deles. É claro que, uma vez que o professor age como incentivador do conhecimento, a relação com os alunos deve ser bem estabelecida, para que o processo de aprendizagem seja funcional.

Dentro dessa relação de aprendizagem, o professor possui uma série de funções que, como era de se esperar, não possui relação apenas com os componentes curriculares trabalhados em sala de aula, mas também, envolve uma preocupação com a formação humana e cidadã. Dentro dessas funções, cabe citar: o planejamento das aulas levando em conta a diversidade dos alunos, bem como a plasticidade para se adaptar às necessidades deles; levar em conta as contribuições dos alunos durante toda a atividade, além de incentivá-los e norteá-los para o caminho correto de acordo com o ambiente e contexto nos quais estão inseridos, possibilitando portanto, a construção do conhecimento. Indo de encontro com essa perspectiva, o professor, sempre que possível, deve ajudar seus alunos a encontrarem sentido naquilo que fazem, tornando o conhecimento o mais palpável possível. Tudo isso deve ser feito de maneira horizontal, pois se o professor for visto como um “chefe” ou

¹A Base Nacional Comum Curricular propõe uma aprendizagem pautada em competências - conhecimentos, valores e atitudes para a resolução de problemas - e habilidades - aprendizagens essenciais, aptidão e destreza - de acordo com os componentes curriculares para o ensino fundamental, e propõe uma aprendizagem baseada nessas mesmas competências e habilidades de acordo com as áreas do ensino, para o ensino médio.

um superior, a relação com os alunos não vai se consumir, dificultando o processo de construção do conhecimento para o aluno, processo este, que o professor deve fornecer ajuda o tempo todo. Mas não para por aí, é necessário promover o estabelecimento das relações e correlações sempre que um assunto novo for apresentado, promover um ambiente que possibilite a auto-estima dos alunos, de modo a desenvolver a autonomia deles; além de exigir dos alunos uma análise do que foi estudado e, por fim, avalia-los conforme a capacidade de cada um.

Adiante, é importante entender como cumprir todas essas funções de acordo com a atividade a ser feita. Com relação as atividades procedimentais, o professor precisa criar condições adequadas e aplicadas as necessidades de cada aluno, já nas atitudinais, não basta propor um ambiente de respeito; é preciso fazer com que os alunos vivam-o sob uma atmosfera de tolerância, respeito mútuo e solidariedade.

1.3 A organização social da classe

Em certos aspectos, a organização dos alunos em sala de aula reflete na forma de aprendizado deles. Existem dois tipos principais de agrupamentos, que são válidos tanto para a turma toda, quanto para pequenos grupos criados para a execução de alguma atividade. São eles: grupos com características heterogêneas e grupos com características homogêneas, sendo essas características dadas em relação ao sexo, nível de desenvolvimento, conhecimento, etc.

Todo tipo de organização, seja em nível maior (sala de aula) ou menor (grupos com poucos alunos) bem como todas as atividades que forem preparadas/organizadas devem levar em consideração o tipo de aprendizagem que será proporcionado para os alunos, a fim de fazer com que a organização do grupo contribua para a aprendizagem requerida por dada atividade, e não acabe atrapalhando-a. O desenvolvimento de atividades diferentes requerem agrupamentos diferentes, por exemplo, a melhor forma de fazer com que um aluno vive em sociedade e aprenda a respeitar a opinião dos demais, é coloca-lo em um grupo heterogêneo com relação ao nível de conhecimento e propor alguma atividade que convirja nesse sentido.

É importante ressaltar que, todas essas considerações devem ser levadas em conta sempre que uma atividade for proposta levando em conta o tipo de aprendizagem e aquilo que o professor espera que os alunos desenvolvam com a aplicação dela.

1.4 A organização dos conteúdos

A organização dos conteúdos foi, e continua sendo, tema de muita polêmica. Ao longo da história, os conhecimentos foram alocados dentro das disciplinas seguindo uma lógica curricular, mesmo que isso significasse romper com a ordem cronológica em que esses conhecimentos foram descobertos pelos pesquisadores. Entretanto, as DCN's ², por exemplo, trouxeram uma proposta para o ensino médio que rompe essa organização centrada apenas nas disciplinas, e busca a interdisciplinariedade [7]. Práticas que visam a interdisciplinariedade e, tornam o conhecimento mais palpável para o aluno são denominados

²As Diretrizes Curriculares Nacionais são normas de caráter facultativo para a Educação que orientam o planejamento curricular das escolas. Mesmo após a elaboração da BNCC, as DCN's continuam válidas, porque são documentos complementares: as Diretrizes dão a estrutura e a Base o detalhamento das habilidades e competências.

como métodos globalizadores.

Muito embora a BNCC retoma a ideia de colocar cada conhecimento em sua própria disciplina [8], Antoni Zabala defende a organização de conteúdos globalizadores, pois a aprendizagem só pode ser considerada relevante na medida em que ela desenvolve nos alunos a capacidade para compreender a realidade que, por sua vez, se manifesta como um todo e de maneira interdisciplinar.

Entretanto, isso não desmerece o conhecimento singular, apenas propõe novos caminhos de ensino que, se organizados de maneira lógica e coerente, podem despertar o melhor dos alunos. Por exemplo, os PCN's³, voltados ao ensino fundamental, ressaltam a importância dos temas transversais [9]. Isso, se aplicado de maneira correta, prepara os alunos para exercerem a interdisciplinariedade quando chegarem no ensino médio.

1.5 Os recursos didáticos

Materiais e recursos didáticos são ferramentas de extrema importância que proporcionam referências para se tomar decisões. Essas ferramentas auxiliam na preparação e planejamento de uma aula, bem como na avaliação, além de influenciar diretamente no processo ensino aprendizagem. De um modo geral, bons materiais e referências ajudam os professores a lidar com problemas práticos que aparecem durante o planejamento, execução e avaliação de uma aula.

Além disso, é de extrema importância saber quais recursos os professores possuem disponíveis para cada tipo de conteúdo a ser trabalhado. Muito embora os recursos são maleáveis para cada tipo de conteúdo, uma proposta é separá-los da seguinte maneira:

- Conteúdos conceituais: quadro negro, audiovisuais e livro didático;
- Conteúdos procedimentais: textos, dados estatísticos e revistas;
- Conteúdos atitudinais: vídeos e textos que estimulem o debate.

Cada um desses recursos didáticos carregam consigo uma mensagem subliminar: eles são transmissores de história, cultura e de determinada visão da sociedade, de modo que, ao serem aplicados, é necessário correlacionar e ideologia que carregam e o modelo de aula que induzem, com o intuito de fazer com que todos os parâmetros de uma boa aula convirjam para um mesmo ponto: o aprendizado do aluno.

1.6 A avaliação

Realizar uma avaliação de forma justa e honesta não é um trabalho fácil. Antes de entender como avaliar é necessário compreender porque se deve avaliar. Tentativas de respostas para essa pergunta recaem sobre a ideia de avaliar não apenas o aluno, que aprende, mas também o professor, de como ele ensina. A ideia elaborada pelo autor é a de que a avaliação seja inicial, reguladora (capaz de acompanhar o progresso do aluno), final e integradora.

³Os Parâmetros Curriculares Nacionais formam um documento que compõe a grade curricular de uma instituição educativa, servindo portanto, como ponto de partida para o trabalho docente, norteador as atividades realizadas em sala de aula.

Tendo uma ideia de como avaliar, é importante entender o que deve ser avaliado. É evidente que, cada uma das inúmeras formas de avaliação que existem (prova escrita, apresentação de trabalho, etc) possuem uma finalidade e visam a avaliação de determinada conduta do aluno. A prova escrita, por exemplo, pode ser aplicada como instrumento para a avaliação de fatos e conceitos, enquanto a apresentação de trabalhos pode avaliar, por exemplo, como os alunos se prepararam para montar um trabalho em grupo, de modo que, a organização do trabalho reflète, em suma, como o aluno compreende e respeita a presença/opinião do outro enquanto membros de uma sociedade.

O autor esclarece ainda que os procedimentos só podem ser avaliados em situações naturais ou artificialmente criadas, pois elas permitem ver o quanto o aluno incorporou para ele mesmo, daquilo que lhe foi ensinado, em uma situação corriqueira, sem a pressão da avaliação. Ressalta ainda que, com relação aos conteúdos atitudinais, estes, precisam ser avaliados continua e permanentemente, e implicam na observação de gestos, ações e atitudes em diferentes situações.

Por último, o autor propõe algumas discussões sobre a ideia das notas serem públicas ou privadas. A ideia da divulgação das notas dos alunos estimula um ambiente sem segredos, podendo melhorar a cooperação entre eles. Entretanto, isto pode tomar outros caminhos, e acabar incentivando a competição e individualidade, além do fato de que pode desrespeitar questões éticas, afinal, cada aluno tem sua vida privada e isso deve ser respeitado.

Capítulo 2

Relembrando a eletrostática

2.1 O conceito de carga e a Lei de Coulomb

A eletrostática é uma parte muito pequena de algo muito maior: o eletromagnetismo. Este, refere-se a unificação de fenômenos elétricos e magnéticos que, até o final do século XVIII não tinham nada em comum [10]. Neste período, conheciam-se apenas alguns fenômenos pontuais referentes tanto a eletricidade quanto ao magnetismo, mas logo no início do século seguinte, foram descobertos os efeitos magnéticos das correntes e, mais alguns anos depois, Faraday descobriu o fenômeno da indução eletromagnética. Todas essas descobertas, e outras, levaram Maxwell a elaborar suas famosas equações que descrevem todo o eletromagnetismo clássico.

A compreensão de fenômenos eletromagnéticos em toda a sua extensão deve ser feita a partir do básico: a eletrostática. Esta, por sua vez, consiste em estudar as interações causadas por cargas elétricas em repouso, sendo elas: a força coulombiana, a perturbação que essas cargas produzem no meio e a energia potencial eletrostática associada a elas [11].

Para compreender as interações eletrostáticas, deve-se começar abordando a já citada carga elétrica: o que é essa tal carga? Quais são as propriedades atreladas a ela? A resposta para essa e outras perguntas tem seu início na Grécia antiga, quando as primeiras observações foram feitas. Lá, foi observado que o âmbar, quando atritado com pele de animais atraía partículas leves. Do grego, âmbar significa *elektron*, que deu origem a palavra eletricidade e a palavra elétron, a qual se refere a partícula. Por isso, é muito comum pensar em carga como sendo um elétron, mas na verdade, carga pode ser mais bem entendida como uma manifestação de uma propriedade que todos os portadores de cargas possuem, ou seja, os elétrons e os prótons.

Embora já se sabia sobre a repulsão e atração de partículas na Grécia antiga, a existência de dois tipos de cargas foi feita por Charles-François de Cisternay Dufay, em 1733 [10, 12], mas a denominação de cargas positivas e negativas e, parte da explicação do fenômeno de atração e repulsão foram feitos por Benjamin Franklin (ele não conseguia explicar apenas por que corpos negativos - falta de fluido elétrico, na teoria de Franklin - se atraíam. Essa explicação foi feita por Franz Aepinus). Além disso, as experiências de Franklin o levaram não apenas a nomear as cargas, mas o fizeram concluir que os processos de eletrização não criava cargas, apenas o transferia de um corpo para outro, dependendo da capacidade de ganhar ou perder elétrons de cada material (Conforme exposto no [Apêndice A](#)). Além disso, é importante ressaltar que, alguns corpos são mais susceptíveis a passagem de cargas elétricas por eles, estes são os chamados condutores, enquanto outros corpos são menos susceptíveis a passagem das cargas elétricas, os deno-

minados, isolantes.

Um estudo mais aprofundado sobre os fenômenos físicos foram feitos em 1785 por Charles-Augustin Coulomb [10]. Em seus experimentos, ele obteve uma série de resultados que juntos, formam a base da eletrostática clássica. Em resumo, através de seus experimentos, Coulomb mostrou que a força (que pode ser de atração, ou de repulsão) entre dois pequenos corpos carregados no ar, separados por uma distância grande em relação às respectivas dimensões [13]:

- variava diretamente com a grandeza de cada carga;
- variava inversamente com o quadrado da distância entre os corpos;
- era dirigida ao longo da reta que unia as duas cargas;
- era atrativa se os corpos estavam carregados com cargas diferentes e atrativa se os corpos estavam carregados com a mesma carga.

Além disso, Coulomb encontrou uma equação matemática, por meio de uma balança de torção ¹, capaz de calcular a força exercida entre as cargas elétricas. Um detalhe é que, devido a natureza ao qual o experimento foi realizado, as cargas foram vistas como cargas puntiformes, ou seja, tinham sua dimensão desprezada. Isso faz com que a equação de Coulomb seja válida apenas para esse tipo de configuração, conforme é mostrada pela equação

$$\vec{F} = k \frac{qQ}{r^2} \hat{r}, \quad (2.1)$$

em que $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cong 8,98755 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$. A fator multiplicativo k é a constante eletrostática, que por sua vez, depende de ϵ_0 , a permissividade elétrica no vácuo, cujo valor é $\epsilon_0 = 8,85419 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. As cargas q e Q representam os valores das cargas elétricas puntiformes e r é o módulo da distância entre elas e \hat{r} é o versor unitário que denota a orientação da força elétrica.

Entretanto, por meio do calculo diferencial, é possível calcular a força eletrostática de corpos não puntiformes pois, embora a (2.1) seja válida apenas para corpos pontuais, ela ainda carrega informação sobre como essa força se comporta. Assim, para um corpo contínuo de matéria e carregado eletricamente, a (2.1) pode ser expressa na forma diferencial como

$$d\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qdQ}{r^2} \hat{r}, \quad (2.2)$$

em que um elemento infinitesimal de carga dQ , da distribuição contínua de cargas, gera um elemento infinitesimal de força $d\vec{F}$ em q ao longo da linha que une as duas cargas, representada por \hat{r} .

A força eletrostática total, resultante desse conjunto de cargas distribuídas nesse meio material com um dado volume V é dada pela contribuição de cada elemento infinitesimal de força, assim, a força resultante final é a soma vetorial de todas essas contribuições por meio do calculo integral, resultando em

$$\vec{F} = \int_V d\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \int_V \frac{dQ}{r^2} \hat{r}, \quad (2.3)$$

¹A Balança de Torção foi um instrumento usado por Coulomb para verificar experimentalmente a sua lei quantitativa sobre a interação entre as cargas. Esta balança era capaz de medir a rotação de um ponteiro ligado a uma fibra, quando esta era torcida pela presença da interação entre as cargas. Isso permitia calcular a força de interação em termos do ângulo de rotação do ponteiro

que pode ser resolvida com as devidas considerações e substituições de acordo com cada problema.

A equação (2.3) só é válida devido ao princípio da superposição, que garante que, em um sistema com mais de duas cargas, a força resultante que atua sobre cada uma delas, é dada pela soma vetorial de suas interações com todas as demais cargas, obtidas aplicando, a cada par de cargas, a lei de Coulomb. No regime discreto, por sua vez, esse princípio é expresso não por meio do cálculo integral, mas sim, através da soma vetorial para todo o conjunto de partículas. O que nos permite escrever a força resultante sobre a carga i , denotada por \vec{F}_i , causada por outras cargas q_j , ao longo da distância r_{ji} , que une as cargas, como sendo

$$\vec{F}_i = \sum_{j \neq i} \vec{F}_{i(j)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_i \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{r_{ji}} \hat{r}_{ji}, \quad (2.4)$$

em que $\vec{F}_{i(j)}$ representa a força causa na carga i , pela j -ésima carga contida na distribuição.

Por fim, vale ressaltar que a identificação da carga em um corpo eletrizado, é dada de maneira quantitativa, conforme Milikan verificou experimentalmente [14]. A equação de Coulomb aplicada a um conjunto com duas cargas pontuais constitui um dos casos mais simples, mas na verdade, por ser quantizada, os corpos que estiverem eletricamente carregados poderão assumir valores de cargas que sejam apenas um múltiplo inteiro da carga elementar $e = 1,602176565 \times 10^{-19}$ C, em outras palavras, quanto mais elétrons estiverem livres naquele corpo, cada um com a sua respectiva contribuição singular e , maior será a carga líquida resultante desse corpo. Este resultado pode ser expresso através da equação

$$Q = Ne, \quad (2.5)$$

de modo que, a carga líquida total, pode ser obtida em função do número de elétrons livres e , se esse conjunto de elétrons puder ser considerado puntiforme, então o valor obtida de carga líquida pode ser aplicada em (2.1).

2.2 O campo elétrico

Um dos conceitos mais básicos e fundamentais na física é o campo [10]. Entretanto, quando se trata do campo elétrico, a interpretação e o entendimento desse conceito é algo que pode ser complicado em primeira instância, mas que ajuda a simplificar outros problemas, afinal, o campo representa uma outra maneira de entender a interação entre as cargas elétricas: ao invés de tratar as interações pela Lei de Coulomb, agora podemos tratá-las por intermédio de campo elétrico. Para isso, é necessário entender o que é o campo elétrico, como ele surge e quais são as propriedades atreladas a ele.

Duas cargas no espaço possuem uma interação coulombiana, dada pela (2.1). Essa interação é a distância, de modo que só pode ser verificada mediante a presença de duas cargas, separadas por uma certa distância. Entretanto, para conceber a ideia de campo, vamos pensar em uma única carga, exercendo uma perturbação no espaço, tal como um planeta isolado exerce uma força gravitacional nos seus arredores. Evidentemente, a perturbação gerada por essa carga só pode ser percebida quando outra carga é colocada e, medindo como essa carga colocada interage com o meio, podemos determinar a perturbação gerada no espaço, mas evidentemente, essa perturbação não pode depender da carga colocada.

A carga que gera o campo, ou seja, a perturbação, pode ser chamada de carga fonte (geradora) do campo elétrico \vec{E} , e a carga colocada para verificar a existência desse campo,

pode ser entendida apenas como uma carga de prova, de modo que, podemos usar a equação

$$\vec{F} = Q\vec{E}, \quad (2.6)$$

para descrever o campo \vec{E} gerado pela carga fonte, cujo efeito sobre a carga de prova Q é medido pela força \vec{F} que atua sobre ela.

Além disso, a carga fonte, nesse caso, é vista apenas como uma carga singular, entretanto, ela pode ser descrita por um conjunto de cargas (q_1, q_2, q_3, \dots) , de modo que, pelo princípio da superposição, a força resultante que atua sobre a carga de prova Q , é dada pela [15]:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1 Q}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{q_2 Q}{r_2^2} \hat{r}_2 + \dots \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} Q \left(\frac{q_1}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{q_2}{r_2^2} \hat{r}_2 + \dots \right), \quad (2.7)$$

o que nos leva a

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} Q \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i. \quad (2.8)$$

Comparando com a (2.6), concluímos que o campo resultante de um conjunto de partículas que atua na região próxima a carga fonte, não depende da carga de prova e pode ser expresso por meio da equação

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i. \quad (2.9)$$

Nesse contexto, o campo representa a força por unidade de carga, o que nos leva a concluir que, uma carga sozinha no espaço ou, um conjunto de cargas, gera uma perturbação em todos os pontos na região próxima a ela, produzindo em cada um deles um valor de campo elétrico que, dentro da eletrostática, varia apenas com o quadrado da distância entre a fonte e o ponto. A carga de prova, revela a existência desse campo, por meio da força que ela sofre.

Mas esse resultado não precisa se limitar apenas ao regime discreto. Como fizemos na sessão anterior, podemos expandi-lo ao regime contínuo, por meio do cálculo diferencial e integral. Para isso, o campo gerado por uma única carga elétrica de fonte é dado pela (2.6) que, após alguns ajustes, pode ser escrita como

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}. \quad (2.10)$$

Mas, usando que $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} \hat{r}$, obtemos

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}, \quad (2.11)$$

que rege o comportamento do campo elétrico gerado por uma única carga. No regime infinitesimal, a equação (2.11) se torna

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r}, \quad (2.12)$$

em que um elemento de carga dq da distribuição de cargas gera um elemento de campo elétrico $d\vec{E}$ em suas proximidades. Considerando, portanto, que essa distribuição está

contida em um corpo de volume V , então o campo total exercido por essa distribuição em uma carga de prova Q , localizada em uma distância r do elemento dq da distribuição de cargas é dado por

$$\vec{E} = \int_V d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{dq}{r^2} \hat{r}. \quad (2.13)$$

A existência de uma carga de prova pode verificar a presença, ou não, do campo elétrico naquele ponto. Mas além disso, é possível ainda visualizar o formato desse campo em todos os seus arredores. Experimentos mostram que, ao traçar as linhas de força que atuam nas cargas de prova, quando sujeitas a presença do campo de uma carga fonte puntiforme, o campo apresenta um comportamento conforme mostra a Figura 2.1.

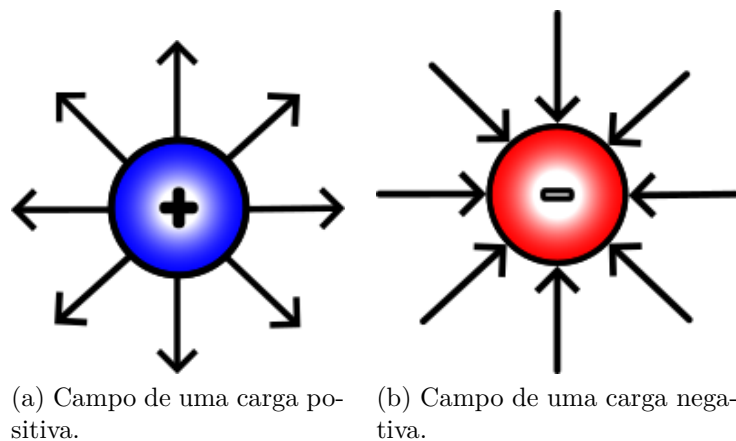


Figura 2.1: Representação esquemática dos campos elétricos nos arredores das cargas 2.1a positiva e 2.1b negativa.

Quando as cargas, positivas e negativas se aproximam, ocorre uma distorção nas linhas de campo, devido a presença de ambas: a carga positiva exerce uma força de repulsão em suas proximidades, enquanto que a carga negativa, uma força de atração em suas proximidades, conforme mostrado na Figura 2.2

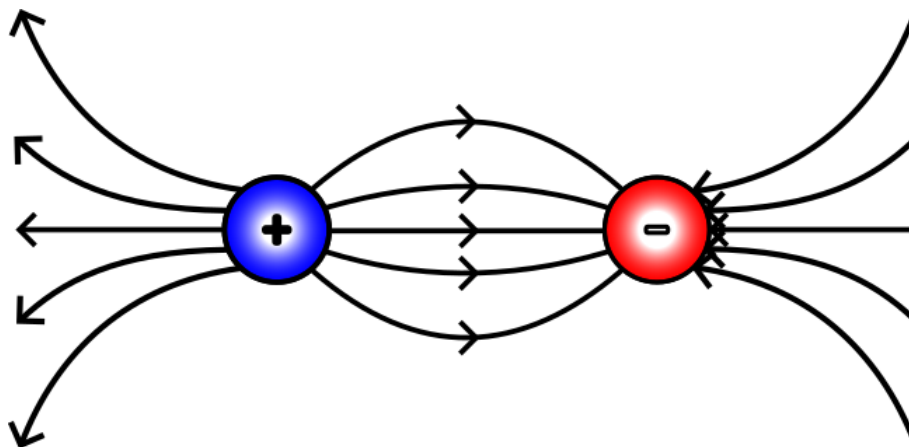


Figura 2.2: Linhas de força para um dipolo de cargas.

Por fim, quando várias cargas estão juntas, de maneira uniforme, como na superfície de um condutor ou, como no caso da Figura 2.3, as linhas de força podem ser consideradas

constante por unidade de área, enquanto estiver longe das fronteiras do objeto, de modo que o campo gerado por essa distribuição atua de maneira uniforme em toda a região próxima do material.

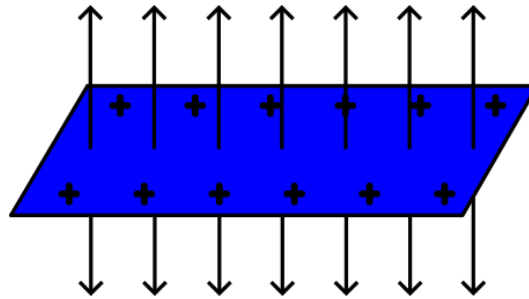


Figura 2.3: Linhas de força para um plano uniformemente carregado.

Um detalhe é que, em todos os casos, deve sempre ser lembrado que o campo elétrico é visto tridimensionalmente, e não bidimensionalmente, conforme as figuras nos dão a entender.

2.3 O potencial elétrico

Imaginando então, que um campo elétrico age sobre uma carga de prova, a força que surge nessa carga é dada pela (2.6). Com a presença dessa força, a carga tende a se mover de um ponto a outro, caracterizando um trabalho exercido pela força. A esta ideia de trabalho necessário para transportar uma carga de um ponto a outro denomina-se potencial elétrico, mas somente se a energia medida nesse processo não depender do valor da carga que está sendo transportada.

Ampliando esse raciocínio, o potencial é definido como o trabalho realizado contra as forças elétricas de uma dada distribuição de cargas (ele não é o trabalho da força eletrostática que empurra a carga, mas da força necessária para empurrar a carga contra a presença do campo elétrico), para levar uma outra carga de um ponto a até um ponto b , sem envolver o valor do seu módulo [16]. Por envolver apenas a força proveniente da carga geradora do campo, e não da carga de prova, essa relação pode ser expressa pela (2.14)

$$W = -\frac{1}{q_{prova}} \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{S} = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (2.14)$$

em que \vec{F} é a força elétrica que atua na carga durante todo o caminho de integração, que pode ser escrito por sua vez, em termos do campo elétrico \vec{E} , $d\vec{S}$ é o diferencial de deslocamento que a carga realiza ao longo desse mesmo caminho que ela percorre e o sinal negativo vem justamente da forma como o potencial é definido: o trabalho necessário para mover uma carga contra a ação de uma força.

Com relação aos caminhos pelos quais a carga pode percorrer, vale lembrar que eles são arbitrários, isso porque, a força coulombiana é uma força central e, portanto, conservativa [10], de tal forma que o campo elétrico também é. Na Figura 2.4 uma certa distribuição de cargas (que não aparece na figura) possui um campo \vec{E} em suas proximidades. Ao interagir com a carga q , surge uma força \vec{F} na carga, que a move de a para b por um caminho arbitrário indicado na Figura 2.4. Independente do caminho escolhido, a energia gasta para mover q de a para b é a mesma, uma vez que apenas a componente da força

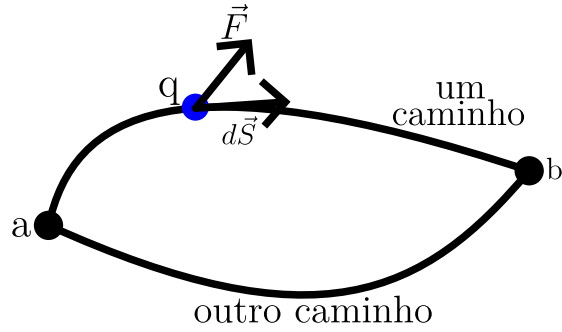


Figura 2.4: Trabalho realizado para levar uma carga de a para b ao longo de um caminho contra a ação de uma força \vec{F} . Neste caso, \vec{F} empurra a carga. O potencial é, por conseguinte, a energia gasta para agir contra essa força para se mover de b para a .

orientada ao longo de $d\vec{S}$ é capaz de provocar esse deslocamento. Assim, componentes do caminho que não levam para b não requerem um gasto de energia. Por essa razão, esse tal potencial elétrico (que vamos definir ainda), não depende do caminho.

Sob essa perspectiva, o trabalho realizado pode ser visto como a diferença de dois números, que no caso, seriam os pontos extremos inicial e final do caminho. Uma maneira de visualizar isso é escolher um ponto P_0 e dois caminhos quaisquer: um que leve de P_0 até um ponto a e outro que leve de P_0 até b , conforme a Figura 2.5.

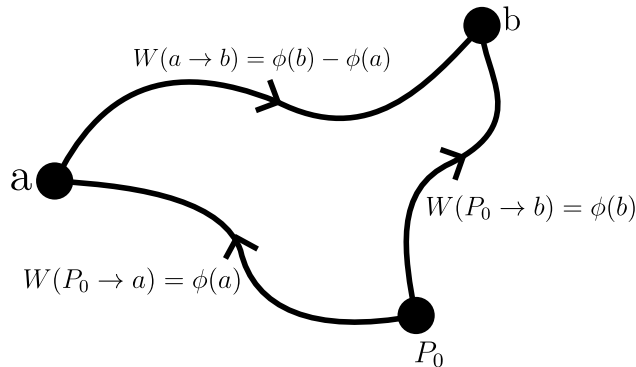


Figura 2.5: Trabalho realizado para ir de a até b ao longo de qualquer caminho, independente do ponto de referência P_0 .

Seja ϕ_a o trabalho realizado contra o campo para ir de P_0 a a , e seja ϕ_b , o trabalho realizado para ir de P_0 até b . O caminho para ir para P_0 , partindo de a (utilizando o caminho $a \rightarrow b$) é o negativo de ϕ_a , o que nos permite escrever

$$-\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} = \phi_b - \phi_a. \quad (2.15)$$

Assim, para ir de a até b , precisamos apenas dessa tal função ϕ , independente de qual seja a localização de P_0 . Uma vez escolhido esse ponto de referência, a função ϕ é dita potencial eletrostático. Para um ponto qualquer, a partir de uma referência P_0 , o potencial é dado pela equação

$$\phi(P) = -\int_{P_0}^P \vec{E} \cdot d\vec{s}. \quad (2.16)$$

Como vimos, a localização da referência é arbitrária, assim, é comum escolhê-la no infinito, onde a presença do campo elétrico é tão pequena que pode ser desprezada. Se

não há campo, não tem como a carga ser movida contra a ação dele, portanto é uma região onde o potencial é nulo, assim, a partir da (2.16), podemos escrever que

$$\phi(P) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}. \quad (2.17)$$

Devido ao fato de o potencial depender do campo elétrico, o qual respeita o princípio da superposição, o potencial também respeita, de modo que, calculando o potencial em um dado ponto P , para uma distribuição discreta de cargas, a equação (2.17) pode ser reescrita como a equação (2.18), entretanto, em um corpo de volume V contém uma distribuição contínua de cargas a (2.17) se torna a (2.19).

$$\phi(P) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_j \frac{q_j}{r_{Pj}}, \quad (2.18)$$

$$\phi(P) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{dq}{r_P}. \quad (2.19)$$

2.4 A simplificação dos conceitos

Durante este capítulo, vimos os principais conceitos da eletrostática e explicamos o que o professor precisa saber sobre esses conceitos para passá-los para seus alunos. Entretanto, uma das primeiras questões que surgem é: até onde devemos avançar com um conteúdo? Para responder a essa pergunta, podemos nos basear nos tópicos que são abordados nos livros didáticos que os alunos usam, uma vez que, esses livros são feitos depois de muita pesquisa relacionada àquilo que deve ou não deve ser passado para os estudantes.

Entretanto, ao fazer uso dos livros didáticos como parâmetro, alguns cuidados devem ser tomados. Alguns livros, devido à maneira como são escritos, podem passar uma visão errada para os alunos sobre a construção da ciência [17], isto é, ao colocar apenas resultados, empobrecer os debates e as lutas necessárias para a ascensão de determinado conceito físico, além de expor os conteúdos de maneira linear, facilitada e simplificada, pode acabar afastando o aluno da maneira com a qual a ciência é feita de fato. Isto resulta em sobrecarregar o aluno de pré-conceitos que o próprio autor acredita enquanto este escrevia o livro, distanciando o aluno cada vez mais da ciência produzida pelos cientistas [18] e tornando-o cada vez mais, escravo do pensamento, muitas vezes unilateral, dos autores, sobre o desenvolvimento da ciência e dos conceitos físicos associados a ela.

Sob esse contexto e como forma de garantir que o aluno construa o conhecimento de acordo com seus próprios princípios, e não, de outras pessoas, vamos fazer uso de vários livros didáticos como parâmetro, misturando-os e escolhendo aquilo que cada um trás de melhor. Os livros usados são dos autores: Alberto Gaspar, Kazuhito e Fuke e o livro escrito pela dupla Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Esses livros servirão apenas como base para entender os aspectos principais, dos conceitos abordados em cada sessão deste capítulo, que devem ser passados para os alunos, mas o conteúdo, por sua vez, será o mais fiel possível àquele produzido pela comunidade científica, dentro dos limites permitidos pelos livros didáticos.

Com relação a carga elétrica, é importante destacar que, a parte histórica deve ser apresentada aos alunos, semelhante ao que foi feita no começo deste capítulo: indo desde as primeiras observações feitas na Grécia, referentes a eletrostática, até a Lei de Coulomb, mas sem todo o rigor matemático e, focando principalmente nos processos de eletrização dos corpos e nas propriedades básicas da carga elétrica [19].

De modo geral, podemos dizer que todos os corpos em seu estado fundamental, possuem a mesma quantidade de prótons e de elétrons, de modo que a carga líquida resultante é nula. Entretanto, existem processos que podem ser realizados com esses corpos de modo a causar uma variação momentânea nesse conjunto organizado de cargas, com o intuito de fazer os elétrons migrarem de um corpo para outro. Assim, o corpo que recebe os elétrons fica carregado negativamente e o corpo que perde os elétrons fica carregado positivamente, conforme a Figura 2.6. A carga líquida resultante desses corpos é proporcional ao número de elétrons que migrou de um corpo para o outro e, será negativa, caso estejamos falando do corpo que recebeu elétrons, ou positiva, caso estejamos falando do corpo que perdeu os elétrons, dada pela (2.5).

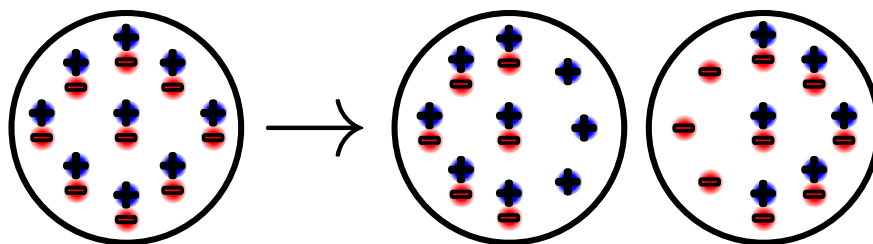


Figura 2.6: Cargas líquidas resultantes após algum processo de eletrização.

É interessante perceber que, quando ocorre essa passagem de elétrons de um corpo para outro, a soma algébrica das quantidades de carga elétrica é nula, uma vez que os elétrons que estão em excesso em um corpo são justamente os que estão em falta no outro. De tal forma que, pela equação (2.5), a carga líquida será igual, em módulo, em ambos os casos, mas uma negativa e outra positiva.

Assim, pela Figura 2.6 é possível perceber que, mesmo após ocorrer um processo que faz os elétrons saírem de um corpo para outro, a carga total do sistema continua inalterada, isto é:

$$Q_{antes} = Q_{depois} \quad (2.20)$$

De um modo geral, quando um corpo ganha ou perde elétrons, ele fica eletrizado. O acúmulo de grandes quantidades de elétrons, ou ausência deles em grande quantidade, pode provocar uma série de efeitos envolvendo atração e repulsão. Ao longo desta sessão, falamos sobre esses processos de eletrização, agora, para entendê-los por completo, podemos separar em três tipos: eletrização por atrito, eletrização por contato e eletrização por indução.

Quando atritamos dois objetos diferentes, ocorre a passagem de elétrons de um deles para o outro. Isso faz com que os corpos estejam eletricamente carregados, se comparados ao seu estado natural, caracterizando portanto, o processo de eletrização por atrito.

Além dela, existe a eletrização por contato. Esta, por sua vez, consiste em utilizar um objeto eletricamente carregado e colocá-lo em contato com outro objeto, que pode ser neutro, carregado positivamente ou carregado negativamente. Existem inúmeros resultados que podem ser analisados a partir da combinação das cargas do primeiro corpo com o segundo corpo, conforme a tabela

Vale ressaltar ainda que, na Tabela 2.1, os resultados observados para o primeiro e segundo caso envolvem a diminuição da carga, uma vez que ela é dividida quando os corpos são colocados em contato, assim, ambos ficam carregados, mas com uma carga menor do que o primeiro corpo possuía, respeitando a conservação da carga. No terceiro

Tabela 2.1: Apresentação dos dados para a eletrização por contato.

Carga do corpo 1	Carga do corpo 2	Resultado observado
Positivo	Neutro	Ambos eletrizados positivamente.
Negativo	Neutro	Ambos eletrizados negativamente.
Positivo	Negativo	Corpos positivos ou negativos.

caso, o resultado obtido depende de qual carga é maior: se o corpo positivo tiver mais cargas positivas, do que o corpo negativo tiver mais cargas negativas, então o resultado será um corpo carregado positivamente e vice-versa.

Por fim, a eletrização por indução, é muito semelhante a eletrização por contato, com exceção de que, nesse caso, os objetos não encostarão um no outro, eles vão apenas se aproximar, de modo que, o corpo indutor, induzirá uma mudança de carga na superfície do outro corpo. Para isso, é necessário que o indutor esteja inicialmente eletrizado. Todas as combinações de resultados, que dependem das cargas sendo positivas ou negativas, de ambos os corpos, estão mostrados na tabela

Tabela 2.2: Apresentação dos dados para a eletrização por indução.

Carga do indutor	Carga do corpo induzido	Resultado observado
Positivo	Neutro	Induz cargas negativas na região
Negativo	Neutro	Induz cargas positivas na região
Positivo	Negativo	Surge uma força de atração
Positivo	Positivo	Surge uma força de repulsão

É importante lembrar que o efeito da indução é transitório, ou seja, desaparece quando o indutor é retirado de perto dos outros corpos. Além disso, para os dois primeiros casos da Tabela 2.2, a região próxima ao condutor vai apresentar uma densidade de cargas contrária àquela do indutor, devido ao fato dos elétrons se moverem para realizar tal efeito. Esse movimento de elétrons faz surgir uma outra densidade de cargas do lado oposto do mesmo material induzido. Por exemplo, ao aproximar um indutor positivo perto de uma região A de uma esfera condutora, essa região ficará com cargas negativas, pois os elétrons se movem até ali. Entretanto, uma região B , dessa mesma esfera condutora, que está o mais longe possível da região A , terá cargas positivas, pois os elétrons se moveram para a região A devido a presença do indutor.

É importante destacar que, o que determina qual corpo vai ganhar ou perder os elétrons, depende do material de que ele é feito. Alguns exemplos estão mostrados na série triboelétrica ([Apêndice A](#)). Além de que, em todos os casos de eletrização, eles só são válidos se forem feitos com condutores, uma vez que, eles permitem o movimento das cargas e portanto os processos de eletrização. Os isolantes, por sua vez, ao impedirem o movimento das cargas, impede o material de perder ou ganhar elétrons, de modo a impedir a sua respectiva eletrização.

Com relação a Lei de Coulomb, campo elétrico e potencial elétrico, todos eles são abordados tanto no livro do Kazuhito & Fuke, como no livro do Alberto Gaspar e no livro do Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga de maneira histórica e semelhante ao que foi feito no início deste capítulo [19–21]. A única diferença, é que todos esses conceitos são abordados em casos mais simples, isto é, sem considerar as distribuições contínuas de cargas, de modo que, todas as expressões de forças coulombianas, campo elétrico e

potencial elétrico são resumidas nas equações

$$F = k \frac{qQ}{r^2}, \quad (2.21)$$

$$E = k \frac{q}{r^2} \quad (2.22)$$

e

$$V = k \frac{q}{r}, \quad (2.23)$$

provenientes da própria definição de cada um dos conceitos, respectivamente.

É importante destacar que o caráter vetorial da (2.21) e (2.22) pode ser discutido pelo professor com os alunos em sala de aula, além de discutir quais letras são comumente usadas para representar cada uma das grandezas físicas, por exemplo, se for o caso, pode-se trocar r por d , desde que fique claro para os alunos que em ambos os casos as letras se referem à distância e, a qual distância ela se refere no contexto apresentado.

Capítulo 3

A construção da sequência didática aplicada ao ensino da eletrostática

Existem várias maneiras de organizar um assunto a depender dos objetivos a serem atingidos com a sequência de aulas. Além disso, a construção teórica de uma dada sequência, apresenta certo grau de artificialidade, uma vez que é impossível prever com clareza como será o desenvolvimento, comportamento e participação dos alunos durante as aulas. Entretanto, através de uma organização, mesmo com caráter artificial, pode-se considerar vários casos e situações de maneira sistemática, preparando o professor para elas, algo que dificilmente aconteceria sem a preparação da sequência.

Por ser planejadas sob uma perspectiva construtivista, todas as discussões, problematizações e explicações devem, sempre que possível, serem feitas juntamente com o aluno, de modo que o professor não seja visto como um superior, mas como um igual, fomentando o diálogo, que por sua vez, atua como ponto de partida na construção do conhecimento. O professor, por meio desse diálogo, será capaz de identificar o que deve ser ensinado, a partir dos conhecimentos prévios dos alunos. Além disso, toda tentativa de explicar o assunto, bem como todas as participações dos alunos devem ser vistas, anotadas e acompanhadas pelo professor, a fim de ajudar os alunos a aprenderem o conteúdo de fato.

Neste capítulo, vamos dividir esta sequência de aulas em um conjunto de 7 aulas, e estabelecer limites (que são bem flexíveis) do que deve ser atingido em cada uma delas, para que o objetivo final ao longo dessa sequência seja alcançado: ensinar eletrostática para os alunos do ensino médio, por meio de uma abordagem construtivista e através de metodologias ativas, bem como contribuir com a formação cidadã e cultural dos alunos enquanto membros da sociedade. Vale ressaltar que, devido ao fato de existirem inúmeras variáveis que não podem ser previstas em uma sequência de aulas, descreveremos aqui, os aspectos gerais, que devem ser atingidos pelo professor a fim de aplicar o eletroscópio sob uma ótica construtivista, mas os aspectos subjetivos (tais como exercícios para praticar, bem como quantidade de aulas, etc) podem variar a depender do contexto sob o qual a sequência de aulas é aplicada, sendo de responsabilidade do professor, fazer as devidas mudanças baseadas no [capítulo 1](#), para adequar as aulas ao contexto de sua turma.

3.1 Primeira aula

Nesta primeira aula, é de extrema importância motivar e instigar os alunos com o que será estudo mais adiante. Pode-se ressaltar para eles que, ao final de cerca de 7 aulas, eles serão capazes de desvendar uma parte nova da natureza, isto é, a eletrostática. Isso

os tornarão capazes de explicar situações do dia-a-dia que envolvem essa área da física.

Como fonte de motivação, pode-se propor algumas situações problema, tais como: porque os pelos dos braços ficam arrepiados quando tiramos uma roupa de lã em um dia frio, por exemplo? Porque algumas cobertas de lã estalam, ou saem faíscas? A dificuldade em explicar com certeza o porquê dessas situações ocorrerem deve servir como fonte de inspiração para ganhar a atenção dos estudantes, e em seguida, ouvir o que eles têm a dizer. É importante que, enquanto falem, o professor faça um mapeamento para perceber o que os alunos sabem do assunto, e portanto, sob um viés construtivista, ajude-os a construir o conhecimento de maneira correta nas próximas aulas.

Com os alunos organizados em fileiras e, já com a atenção deles, deve-se aplicar um questionários com algumas questões conceituais para verificar o conhecimento prévio de cada um. O questionário, bem como as anotações feitas pelo professor acerca da fala dos alunos, tem como objetivo verificar os conhecimentos prévios e não deve ser usado como forma de avaliação. Neste questionário, os alunos precisam se identificar e, como sugestão de pergunta, o docente pode colocar:

- O que é carga elétrica? Já ouviu falar em algo desse tipo? Dê exemplos do seu dia-a-dia com o máximo de detalhes possíveis.
- O que é campo elétrico? Já ouviu falar em algo desse tipo? Dê exemplos do seu dia-a-dia com o máximo de detalhes possíveis.
- O que é potencial elétrico? Já ouviu falar em algo desse tipo? Dê exemplos do seu dia-a-dia com o máximo de detalhes possíveis.
- Como você explicaria os efeitos observados nas situações que o professor apresentou?

É esperado grande dificuldade por parte dos alunos para responder as perguntas iniciais. É provável que, parte dos alunos consigam, com muita dificuldade, explicar razoavelmente alguns dos conceitos, mas certamente, não conseguirão relacioná-los com os fenômenos do dia-a-dia. Fazendo uso das informações obtidas, o professor pode retomar algumas informações propostas pelos alunos para relacionar com o conteúdo que estiver ensinando.

No tempo restante da aula, o professor pode explicar para os alunos que, dúvidas desse tipo sempre existiram e situações de mesma natureza das que foram discutidas, ocorreram na Grécia Antiga, o que levaram os gregos a fazer observações e a buscar respostas para essas perguntas. Em seguida, pode-se introduzir um pouco a história da eletrostática, de acordo com a seção 2.1, mas sem dar as respostas das situações problemas, isso acontecerá nas aulas seguintes.

3.2 Segunda aula

Relembrando a turma sobre as questões referentes a aula 3.1 pode-se organizar 4 grupos, com o intuito de realizar a construção do eletroscópio: aparelho destinado a verificar a existência de cargas elétricas, que são as responsáveis pelos fenômenos outrora discutidos.

Com o aparato construído (ver [Apêndice B](#) ou [Apêndice C](#)), e uma vez entendido o funcionamento dos componentes, pode-se começar a explorá-lo, através de corpos eletrizados, discutindo com os alunos os resultados observados. Além de verificar (ou não), a

presença de cargas elétricas nos corpos, pode-se realizar inúmeras interações, tais como: descobrir qual o corpo que ficou carregado, o que acontece com a carga resultante após encostar dois corpos carregados juntos, encostar dois corpos carregados com cargas opostas e verificar a carga resultante em cada um após esse fenômeno, além de outras (tendo como base a seção 2.1). É importante ressaltar para os alunos que, ao aproximar dois corpos que o eletroscópio acusa estar carregado negativamente, eles tendem a se fastar. Este tipo de discussão possibilita a compreensão de inúmeros outros fenômenos que serão estudados nas aulas seguintes.

Além de discutir todas essas situações qualitativamente, é importante ressaltar para os alunos que, a carga contida nos corpos carregados dependem da equação (2.5), ou seja, depende da quantidade de elétrons retirados do material. Essa é a carga responsável pelos fenômenos que eles observaram/sentiram com os corpos carregados.

O professor pode fazer uso do quadro negro sempre que achar necessário, para destacar os principais resultados, bem como expor as equações ou as principais partes da história abordadas na seção 3.1, que estão relacionadas com a carga elétrica e sua descoberta. Ao final da aula, o docente pode aplicar um relatório para os alunos, não só para verificar o aprendizado deles na aula em questão, mas também para ajudá-los a fixar os conceitos e acompanhar o desenvolvimento deles. Este relatório deve ser devolvido, de modo que o professor possa usá-lo para acompanhar o desempenho dos alunos.

3.3 Terceira aula

Dependendo do andamento da turma, e até da forma com a qual o professor escolhe abordar o experimento, é natural que nem todos os objetivos propostos para a aula descrita na seção 3.2 sejam alcançados, na verdade, se for do interesse do professor, ela pode ser usada exclusivamente para a elaboração do eletroscópio. Pensando nisso, para esta aula, é conveniente formar grupos novamente (não precisam ser os mesmos que os grupos formados na aula descrita na seção 3.2), para retomar as observações propostas anteriormente, ou então, começar a discuti-las agora.

Ao final da aula e de todas as discussões, enquanto os alunos ainda estiverem organizados em grupos, é possível solicitar um relatório individual, mas que pode ser discutido entre eles, para verificar o respectivo aprendizado de cada um, bem como propor um questionário sobre as questões qualitativas apresentadas através do eletroscópio, envolvendo: a atração/repulsão das cargas, a quantificação da carga por meio do número de elétrons retirados do material, entre outros. Como sugestão para abordar essas questões, o professor pode colocar as seguintes indagações no questionário, que ao ser respondido, deve ser devolvido para o professor, de modo que este possa acompanhar como seus alunos evoluem.

- Ao eletrizar os corpos, o que determina qual deles perde e qual deles ganha os elétrons?
- O que você observou quando corpos carregados negativamente eram aproximados? E se ambos os corpos estavam carregados positivamente? E se um estava carregado negativamente e o outro positivamente?
- É possível mensurar a carga contida no corpo eletrizado ? Explique

As perguntas propostas para essa aula contribuem com a fixação dos conceitos. É esperado que os alunos consigam responder as perguntas, podendo ter alguns pequenos erros conceituais, principalmente nas segunda e terceira perguntas.

3.4 Quarta aula

Agora, pode-se retomar a pergunta proposta na aula descrita na seção 3.1: por que os pelos do braço são puxados ao retirar o casaco de lã em um dia seco? Para desenvolver a resposta com os alunos podemos ressaltar a observação de que, os pelos do braço estavam parados mas, ao retirar o casaco, eles começam a se mover. Se inicialmente a velocidade era nula e, posteriormente, eles adquiriram certa velocidade, é sinal de que houve uma variação de velocidade, algo característico da aceleração, que por sua vez, ocorre mediante a presença de uma força. Ou seja, é possível levar os estudantes a concluir que existe uma força associada às cargas elétricas contida nos elétrons liberados entre o atrito do casaco com os pelos do braço. Esta maneira de pensar os ajuda a retomar um assunto visto nas séries anteriores, contribuindo para que eles entendam como as áreas da física se relacionam.

Com os alunos organizados em fileiras e, após todos entenderem a origem dessa força, pode-se mostrar que existe uma expressão matemática para calcular tal fenômeno, destacar que ela foi obtida experimentalmente por Coulomb através da balança de torção (conforme descrito na seção 2.1). Fazendo uso do quadro negro, o professor pode explicar como o experimento foi realizado e os principais resultados obtidos por Coulomb e como ele os obteve, tal como é mostrado na seção 2.4.

Além disso, pode-se usar todo o tempo restante da aula para explicar a equação obtida, as características da força eletrostática (sempre retomando o experimento realizado por Coulomb) e ressaltar que, os termos de carga que aparecem na equação de Coulomb podem ser expressos ainda por meio da equação (2.5), ou seja, que ela pode ser mensurada dependendo do número de elétrons retirados no atrito dos corpos.

Ao final da aula, o professor pode propor aos alunos que realizem um relatório sobre o que aprenderam na aula, bem como propor algumas questões conceituais para resolverem em casa (atividades estas, que não devem deixar de serem devolvidas para o professor) como maneira de fixar e verificar o aprendizado deles. Uma sugestão de questões nesse sentido é:

- O que gera a força elétrica?
- Como é dada a direção e o sentido dessa força?

É muito provável que os alunos não encontrem dificuldades para responder a essas perguntas. Entretanto, o docente pode, ao analisar o relatório, verificar se os conceitos foram realmente compreendidos e se não há qualquer tipo de obstáculo epistemológico [22] na mente dos alunos.

3.5 Quinta aula

Novamente, com os alunos organizados em fileiras, e de maneira individual, pode-se introduzir a ideia de campo elétrico através da seguinte situação: duas cargas no espaço, exercem uma força eletrostática entre elas, como visto nas aulas anteriores. Mas como é

dada a perturbação no espaço causada apenas por uma dessas cargas? O quanto a força dela age no meio em questão?

Aqui o professor pode abordar inúmeros aspectos referentes ao campo de uma carga positiva e de uma carga negativa, bem como perguntar para os alunos, a visão deles sobre como seria o campo para situações com mais de uma carga, conforme comentado na seção 2.2. O quadro negro torna-se uma ferramenta muito eficiente para ajudar na compreensão por meio dos desenhos das linhas de força das cargas elétricas. Imagens preparadas de antemão podem ser muito úteis também. Uma analogia entre força elétrica e campo elétrico pode ser feita com a força gravitacional e campo gravitacional. Por ser algo mais comum aos alunos, pode facilitar a compreensão deles. Imagens com essa comparação são extremamente válidas também.

Após discutir o assunto conforme mostrado nas seções 2.2 e 2.4, o docente pode solicitar um relatório acerca do assunto, e propor um questionário para que os alunos resolvam em casa, e devolvam na próxima aula, cujas perguntas podem ser:

- Qual(is) é(são) a(s) principal(is) diferença(s) entre campo elétrico e força elétrica?
- Descreva o comportamento do campo elétrico gerado por uma carga positiva e por uma carga negativa. Como as linhas de campo se comportam?

É esperado que os alunos encontrem dificuldade para responder a primeira questão. Baseado na resposta dos alunos, o professor pode optar por revisar alguns aspectos sobre os assuntos desta aula, na aula seguinte. A segunda questão não deve apresentar dificuldade para ser respondida pelos alunos.

3.6 Sexta aula

Como fonte de motivação para esta aula, o professor pode perguntar aos alunos se algum deles já sentiu um choque elétrico e, se algum aluno saberia explicar o que é o choque.

É muito provável que, grande parte dos alunos tenham uma grande dificuldade para explicar tal efeito, uma vez que ele está associado com a ideia de energia: conceito extremamente abstrato. Assim, entender o choque elétrico significa entender como a energia está associada com a carga elétrica, e como isso tudo se transforma em uma “força” que nos machuca.

Para explicar tal situação, o professor pode, ao desenhar duas cargas de sinais contrários no quadro negro (uma supondo fixa e outra supondo móvel), perguntar aos alunos o que acontece quando ele aproxima a carga móvel da carga fixa. Após alguns debates e discussões, e com os discentes organizados em fileiras, mas cada um ouvindo a participação dos demais, o professor pode levá-los a entender que, quando ambas estiverem muito próximas, a carga móvel teria uma energia muito grande acumulada, de modo que, se ela for solta, tenderia a ser repelida rapidamente. E, assim, fica definido o potencial elétrico: a energia necessária para manter uma carga próxima da outra, quando sujeita a ação do campo contrário.

Vale ressaltar que esse raciocínio pode ser embasado a partir dos materiais que o eletroscópio julgava estar carregado. Se eles fizeram boas observações (que podem ser induzidas pelo professor, como é descrito na seção 3.2), quanto mais próximo dois objetos carregados estavam, maior era a repulsão entre eles, ou seja, mais energia tinha acumulada, energia essa, capaz de mover os portadores de cargas e proporcionar o choque elétrico.

Ao final dessa aula, o professor pode solicitar um relatório para verificar o quanto do conteúdo da seção 2.4 foi abstraído pelos alunos.

3.7 Sétima aula

O docente pode reunir os alunos em grupos e expor um mapa conceitual ¹ no quadro dos principais pontos abordados ao longo das aulas. Desse mapa, ele pode fazer uma retomada e junção dos assuntos juntamente com seus alunos, tendo como base os relatórios, resultados das questões conceituais e análise feita sobre o desenvolvimento dos alunos durante as aulas, para sanar todas as dúvidas deles.

Após isso, o professor pode solicitar um relatório geral, que os alunos podem fazer individualmente, mas discutir com seus colegas de grupo. Nesse relatório, os alunos deverão relacionar todos os conceitos e tentar dar exemplos de como eles estão ligados com as nossas vidas.

Por fim, o professor pode passar o mesmo questionário que o passado na aula descrita na seção 3.1, como instrumento para verificar o real aprendizado dos alunos.

A forma de avaliação pode ser, além do desempenho nos relatórios e questões conceituais, comparar o primeiro questionário com o segundo e verificar se o aluno conseguiu compreender com clareza o que é cada um dos conceitos abordados e as diferenças entre eles. A nota deve ser dada conforme a evolução do aluno. Por exemplo, um aluno que não sabia nada antes das aulas e, após elas, demonstrou certo nível de conhecimento, mesmo que não tão grande quanto dos seus colegas, teve um aprendizado significativo se comparado ao conhecimento anterior.

3.8 Resultados e análise da sequência de aulas

Para verificar o quanto a sequência de aulas descrita ao longo do capítulo 3, é realmente efetiva, aplicamos ela para um grupo de 13 alunos de escolas públicas, todos do terceiro ano do ensino médio, cujas idades são de 17 anos. (com algumas variações de 1 ano a mais ou a menos para alguns dos alunos).

Devido as condições sob as quais a aplicação foi realizada, tivemos que alterar a sequência para um conjunto de duas aulas de duas horas cada, de modo que, na primeira aula, os alunos foram instruídos sobre como utilizar o ferro de solda e sobre a funcionalidade dos componentes eletrônicos, bem como foi realizada a construção do eletroscópio e a exploração do aparato. A segunda aula, por sua vez, foi usada para revisar todos os conceitos da eletrostática, de maneira superficial, uma vez que os alunos já haviam estudado tais assuntos na escola.

Para verificar o quanto os alunos lembravam sobre o assunto, ou seja, o que eles de fato aprenderam nas aulas, aplicamos um questionário contendo 5 questões ao final da primeira aula, sendo elas:

- Você sabe o que é carga elétrica ? Explique detalhadamente.

¹O termo “mapa conceitual” surgiu em 1988 por Joseph D. Navak [23] e corresponde a um diagrama que apresenta conceitos inter-relacionados formando uma estrutura conceitual. Os conceitos são relacionados por linhas, levando de uma palavra-chave até outra, de maneira hierárquica, isto é, do mais amplo para os mais específicos.

- Você sabe como eletrizar um material para que suas cargas se manifestem ? Explique detalhadamente.
- Você sabe como Coulomb encontrou a expressão da força elétrica ? Explique detalhadamente.
- Você sabe explicar, com o máximo de detalhes possíveis, o que é campo elétrico ?
- Você já sentiu um choque elétrico ? Sabe explicar com riqueza de detalhes como ele acontece ?

Ao final da segunda aula, o mesmo questionário foi aplicado, mas dessa vez, contendo uma questão extra:

- O que você achou das aulas ? O que você mudaria ? Quais as principais diferenças entre essas aulas e as que você tem na escola? Por favor, comente com sinceridade a sua opinião sobre esse curso!

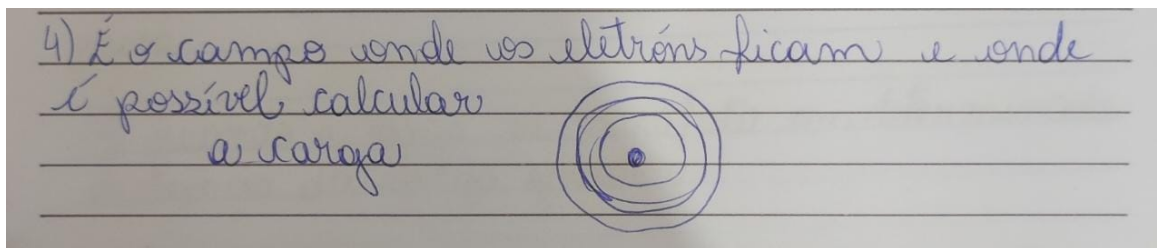
Referente ao primeiro questionário, as respostas foram classificadas em três níveis: errado, parcialmente correto e correto, para cada uma das perguntas. Assim, podemos construir a Tabela 3.8, expondo os resultados dos alunos para cada uma das perguntas aplicadas na primeira aula.

Tabela 3.1: Desempenho de cada um dos alunos para cada uma das perguntas por eles respondidas.

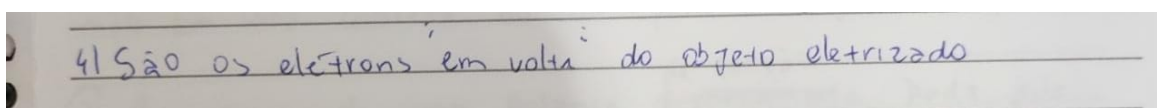
Alunos	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
Aluno 1	Errado	Correto	Errado	Parcial	Errado
Aluno 2	Parcial	Parcial	Errado	Errado	Errado
Aluno 3	Parcial	Parcial	Errado	Errado	Parcial
Aluno 4	Parcial	Parcial	Errado	Errado	Errado
Aluno 5	Parcial	Errado	Errado	Errado	Errado
Aluno 6	Correto	Correto	Errado	Errado	Correto
Aluno 7	Parcial	Parcial	Errado	Errado	Errado
Aluno 8	Errado	Errado	Errado	Errado	Errado
Aluno 9	Errado	Errado	Errado	Errado	Errado
Aluno 10	Errado	Errado	Errado	Errado	Errado
Aluno 11	Errado	Parcial	Errado	Errado	Parcial
Aluno 12	Parcial	Parcial	Errado	Errado	Parcial
Aluno 13	Errado	Errado	Errado	Errado	Errado

Baseado na Tabela 3.8, é possível perceber que a grande parte das respostas foram erradas/não sabiam responder (aproximadamente 69,23%), uma pequena parte das questões foram respondidas de maneira parcialmente correta (aproximadamente 24,62%) e pouquíssimas questões foram respondidas de maneira correta (aproximadamente 6,15%). Ainda com relação a Tabela 3.8, é importante ressaltar que, os últimos 5 alunos, destacados pela cor cinza, faltaram na segunda aula, e portanto, não responderam o segundo questionário, razão pela qual não participarão da análise de desempenho.

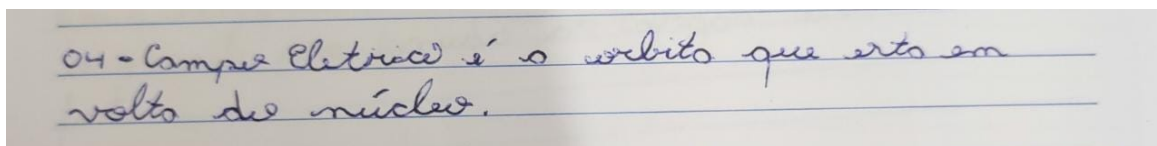
Além disso, todos os alunos, sem exceções, deixaram em branco a questão 3, o que mostra uma certa lacuna em relação a parte histórica do conteúdo. Com relação a questão 4, foi possível perceber um número significativo de respostas semelhantes, e erradas, provavelmente relacionada com alguma interpretação equivocada por parte dos alunos em relação ao que lhes foi passado no colégio, conforme mostra a Figura 3.1.



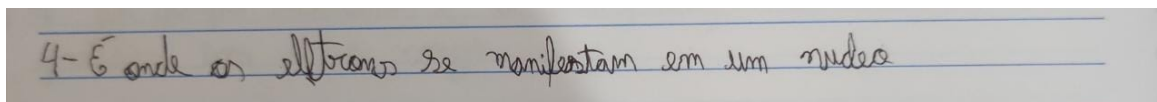
(a) Aluno 2



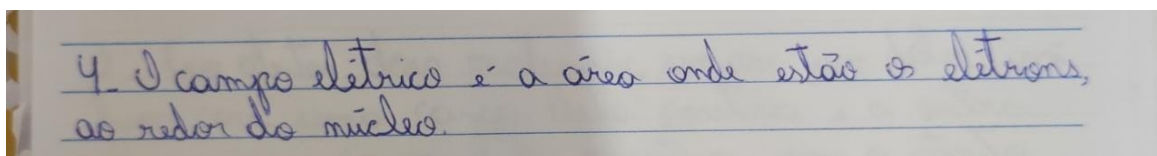
(b) Aluno 3



(c) Aluno 4



(d) Aluno 5



(e) Aluno 6

Figura 3.1: Resposta de alguns alunos sobre a questão 4 do primeiro questionário.

Aparentemente, os alunos acham que o campo elétrico é uma região que possui elétrons, podendo ser inclusive, a órbita dos átomos, o que é equivocado, uma vez que não é necessário ter a existência de uma carga de prova (como um elétron, conforme foi citado por eles) para ter campo elétrico. Essa carga de prova serve apenas para verificar se o campo elétrico existe ou não.

Após a segunda aula, foi possível perceber que houve um progresso em relação às respostas dos alunos. Eles conseguiram compreender melhor o conteúdo, conforme mostrada na Tabela 3.8.

De modo geral, é possível perceber que, o que antes era entendido como parcialmente correto por eles, após a segunda aula, eles acertaram por completo e, o que antes eles responderam errado, após a segunda aula, eles obtiveram um acerto parcial.

Tabela 3.2: Desempenho de cada um dos alunos para cada uma das perguntas por eles respondidas depois de terem assistido a aula sobre os assuntos.

Alunos	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
Aluno 1	Parcial	Correto	Parcial	Correto	Correto
Aluno 2	Correto	Parcial	Correto	Errado	Errado
Aluno 3	Correto	Correto	Parcial	Errado	Parcial
Aluno 4	Correto	Correto	Errado	Parcial	Errado
Aluno 5	Parcial	Errado	Errado	Parcial	Errado
Aluno 6	Correto	Correto	Correto	Correto	Correto
Aluno 7	Correto	Correto	Parcial	Parcial	Parcial
Aluno 8	Correto	Correto	Parcial	Parcial	Parcial

Se analisarmos as respostas dos 8 primeiros alunos da Tabela 3.8, obtemos que a porcentagem de questões erradas, parcialmente corretas e corretas foram de:

- Erradas: 62,5%
- Parcialmente corretas: 27,5%
- Corretas: 10,0%

Enquanto que, após a segunda aula, os resultados foram:

- Erradas: 20,0%
- Parcialmente corretas: 35,0%
- Corretas: 45,0%

Indicando um avanço significativo no aprendizado dos alunos. Podemos ver e comparar esse avanço por meio dos gráficos presentes na Figura 3.2

A Figura 3.2 da uma visão geral do desempenho da turma ao final do curso, entretanto, existem algumas respostas particulares cuja análise é de extrema importância. Em particular as respostas propostas pelo Aluno 2 no primeiro questionário são:

É possível perceber, na Figura 3.3, as respostas foram curtas e simples, refletindo que o conteúdo não foi devidamente explorado em sala de aula. Entretanto, ao final do curso, as respostas obtidas na seção 3.4, retratam respostas serem mais bem elaboradas, bem como as conexões feitas por este aluno.

Além disso, é válido notar que, na resposta da questão 1 da Figura 3.4, o Aluno 2 retoma parte do que foi realizado com o experimento. Ele identificou, por meio do eletroscópio, que o canudo perdeu elétrons. Assim, é visível a importância do aparato na construção de um conhecimento lúdico para os alunos, facilitando portanto, na compreensão sobre cargas elétricas, sendo este, assunto fundamental para a compreensão dos demais conceitos da eletrostática.

Assim como o Aluno 2, grande parte dos demais alunos obtiveram um aprendizado superficial sobre a história da eletrostática, mas que se faz muito necessário no desenvolvimento do assunto. Isso pode ser visto comparando as respostas da coluna “Questão 3” da Tabela 3.8 com a mesma coluna da Tabela 3.8.

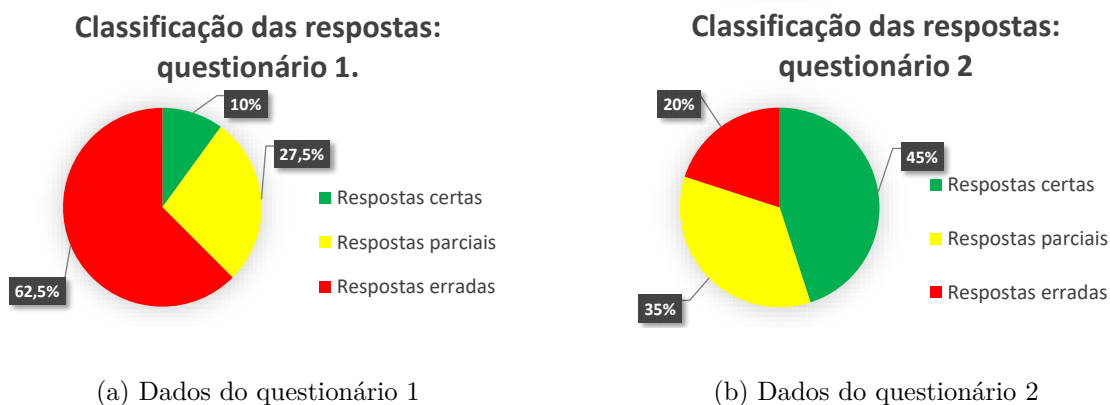


Figura 3.2: Classificação das respostas dos alunos em cada questionário. 3.2a, expõe as respostas referentes ao primeiro questionário, enquanto que 3.2b exibe as respostas referentes ao segundo questionário.

Por fim, em relação a questão 6, o Aluno 2, assim como grande parte dos outros estudantes, relatam pontos importantes sobre como foram as aulas. Na visão deles, o fato das aulas terem sido descontraídas e experimentais, facilitou na compreensão e na forma com a qual eles entenderam o assunto, além do fato de terem acesso a experiência de trabalharem com o ferro de solda: algo que no colégio, seria praticamente inimaginável acontecer.

As condições sob as quais as aulas foram aplicadas, exigiu mudanças drásticas na sequência didática proposta ao longo deste capítulo, o que influenciou na resposta dos alunos na questão 6. Grande parte deles comentou que, embora as aulas foram muito legais e eles aprenderam muito com elas (o que é visível inclusive nos gráficos), seria necessário mais tempo para abordar as questões da eletrostática, razão pela qual, os resultados obtidos poderiam ter sido ainda melhores.

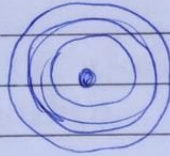
De certa forma, os resultados que foram obtidos não se distanciaram do que era esperado. Certamente, o tempo para a aplicação da sequência de aulas não foi perfeito, mas se ela se prolongasse para mais dias, seria difícil garantir a frequência de todos os alunos em todas as aulas. Por esse motivo, era esperado que alguns conceitos não ficassem 100% claros para os alunos, isso porque não havia tempo suficiente para discuti-los.

1) Sim, quantidade de elétrons num corpo

2) Sim, por meio do atrito, como os cabelos e uma bexiga. Depois do atrito a bexiga ficará com suas cargas manifestadas.

3) Não

4) É o campo onde os elétrons ficam e onde é possível calcular a carga



5) Não. A corrente elétrica é conduzida pelo corpo, mas não sei porque o "choque".

Figura 3.3: respostas das questões do Aluno 2 sobre o primeiro questionário.

- ① É a quantidade de elétrons que sai de um corpo. A carga elétrica do corpo depois do atrito é negativa porque recebeu elétrons do papel.
↳ elétrons copios
- ② Por meio do atrito
(de torção)
- ③ Com uma balança diferenciada, onde ele colocava um corpo eletrizado e fazia o bastão se mover.
Ele percebeu que quanto mais perto, menos o bastão girava.
- ④ Quando a carga se manifesta em determinada distância da carga geradora.
- ⑤ Sim, nessa carga em contato com uma carga geradora faz um impulso forte para retornar.
- ⑥ Achei interessante. Não mudaria nada.
Na sala possuímos 40 pessoas, onde 10 tentam entender e os restantes não ligam, atrapalhando o desenvolvimento do conteúdo.
Por aqui ter apenas interessados, a aula fluiu melhor e mais rápido, mesmo que o conteúdo tenha sido encurtado. Para mim essa é a principal diferença. Mas a prática da aula 1 ajuda muito na compreensão da aula 2.

Figura 3.4: respostas das questões do Aluno 2 sobre o segundo questionário.

Considerações finais

Com os resultados obtidos após a aplicação da sequência didática, os professores, fazendo uso do capítulo 1 e do capítulo 2, podem adaptar a sequência de aulas propostas no 3 com o intuito de torná-la aplicável às suas respectivas turmas.

Generalizando os resultados obtidos ao longo do capítulo 3, sobre o grupo de 13 alunos, é fundamental que o professor desenvolva a questão histórica acerca dos conteúdos que for trabalhar (uma vez que a Tabela 3.8 mostra uma lacuna na noção histórica dos alunos), bem como tomem o devido cuidado para não instruir os estudantes sobre um conceito equivocados da física, conforme mostra a Figura 3.1, além do fato, é claro, de trabalhar a sequência de aulas proposta neste trabalho com tempo para discussão e argumentação.

Por fim, entre as perspectivas de trabalhos futuros, pretendemos propor novas maneiras de ensinar os demais conteúdos da física, todos sob um viés construtivista, uma vez que ele mostra ótimos resultados, afim de formar um conjunto de aulas para todos os conceitos básicos e gerais da física, que podem ser usados por qualquer docente em sala de aula, transformando os alunos em indivíduos pensadores do meio, das práticas e dos problemas de sua realidade, bem como ativos na resolução destes tais problemas que os cercam.

Apêndice A

Série Triboelétrica

Como discutido ao longo do [Capítulo 2](#), todos os materiais, quando diante de processos de eletrização, apresentam uma tendência em ganhar ou perder elétrons. Aquele com maior tendência em perder elétrons, o perderá e vice-versa. A série triboelétrica a seguir, mostra uma série de elementos e sua respectiva tendência em ganhar ou perder elétrons.

Tabela A.1: Representação adaptada de [24], que mostra a tendência dos elementos de ficarem com carga positiva ou negativa após um processo de eletrização. Os elementos que possuem mais sinais na coluna de cargas possuem maior tendência em ficar com a respectiva carga.

Carga	Materiais
+++++	Pele humana seca
++++	Couro
++++	Pele de coelho
++++	Vidro
++++	Cabelo humano
++++	Nylon
++++	Lã
++++	Chumbo
+++	Pele de gato
+++	Seda
++	Alumínio
+	Papel
neutra	Algodão
neutra	Aço
-	Madeira
--	Âmbar
---	Borracha dura
----	Níquel e cobre
-----	Latão e prata
-----	Ouro e platina
-----	Poliéster
-----	Isopor
-----	Filme de PVC
-----	Polietileno
-----	PVC
-----	Teflon

Apêndice B

Montagem e utilização do eletroscópio

Baseando-se no trabalho de Rafael Blangis [25], pode-se construir, de maneira semelhante, um eletroscópio conforme mostrado na Figura B.1:

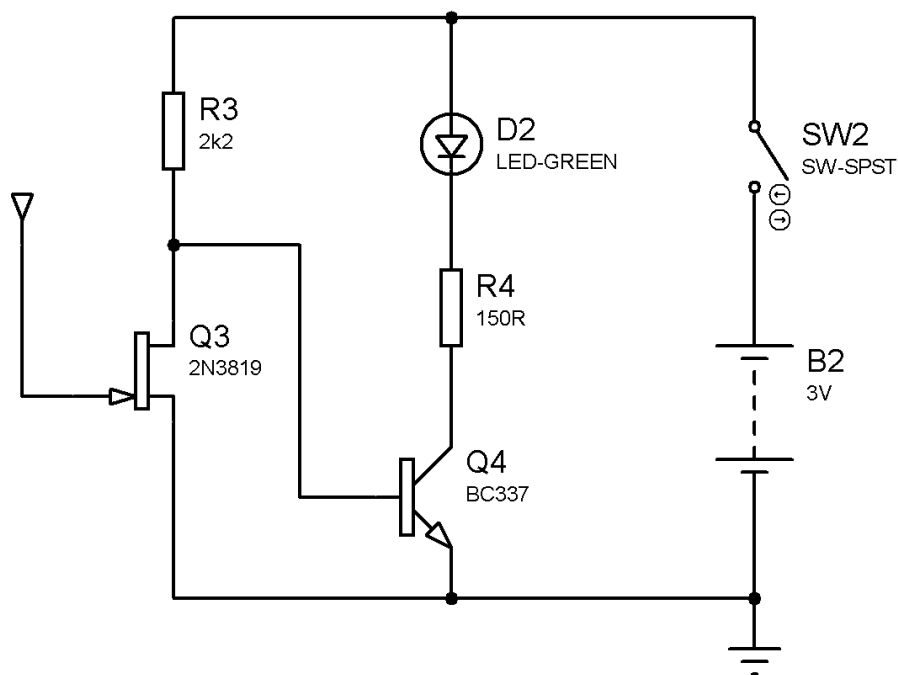


Figura B.1: Representação do eletroscópio.

Cujos materiais necessários para a confecção e utilização dele, são:

- Ferro de solda 110V por 25W
- Liga de estanho (63%) e chumbo (37%)
- Suporte para pilhas AAA de 1,5V
- Duas pilhas alcalinas AAA de 1,5V
- fios condutores (jumpers)

- Resistor 2200Ω por $1/4$ Watts
- Resistor 150Ω por $1/4$ de Watts
- Ponte de terminais
- Chave gangorra
- LED de alto brilho 5mm verde
- Transistor BC337
- Transistor 2N3819
- Caneta

Para a montagem do eletroscópio, é necessário, identificar a função de cada uma dos terminais dos transistores. Essa informação pode ser obtida diretamente do site do fabricante, cujos manuais, expõem as imagens:

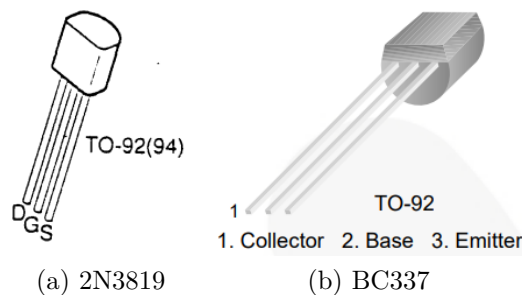


Figura B.2: As imagens mostram, de acordo com o manual dos fabricantes, a função de cada uma das pernas dos transistores 2N3819 e BC337.

Pode-se começar a montagem, soldando os transistores na ponte de terminais. É preciso garantir que, o terminal *Source* (representada pela letra S da imagem B.2a) do 2N3819 esteja no mesmo terminal da placa que a extremidade *Emitter* do BC337, bem como o fio negativo (de cor preta) do suporte para pilhas. Além disso, deve-se utilizar um dos fios de cobre como receptor do sinal elétrico. Esse fio atuará como uma antena, e deverá ser soldado no terminal *Gate* (representada pela letra G da imagem B.2a) do 2N3819, conforme mostra a Figura B.3.

Em seguida, utilizando um fio de cobre, pode-se conectar o terminal *Drain* (representada pela letra D da imagem B.2a) do 2N3819 no terminal *Base* do BC337, e ainda, conectar neste mesmo terminal *Drain*, uma das extremidades do resistor de 2200Ω , de acordo com a Figura B.4.

A outra extremidade do resistor de 2200Ω , pode ser conectada diretamente no polo positivo do LED, ou seja, deve estar conectado na extremidade do LED de maior comprimento. A extremidade livre do LED, a de menor comprimento, deve ser conectada em uma das extremidades do resistor de 150Ω , de modo que, a outra extremidade desse mesmo resistor, seja ligada no terminal *Collector* do BC337, de acordo com a Figura B.5.

Por fim, pode-se ligar uma das extremidades da chave gangorra no polo positivo do LED, por meio de um fio de cobre, e a outra extremidade dessa mesma chave, pode ser ligada no fio positivo (de cor vermelha) do suporte para pilhas, fechando o circuito. Todo

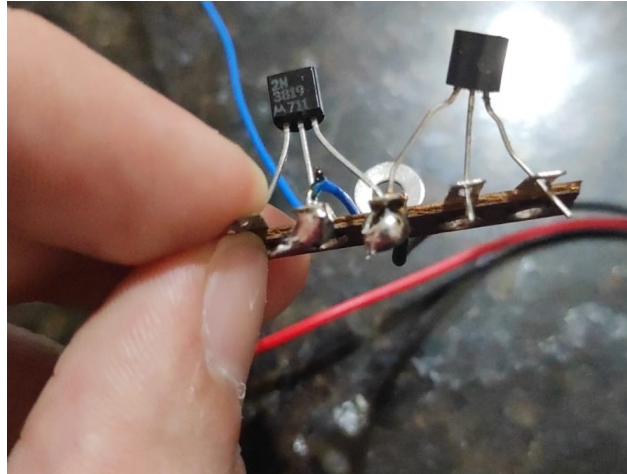


Figura B.3: Transistores, antena e polo negativo do suporte para pilhas soldados na ponte de terminais.

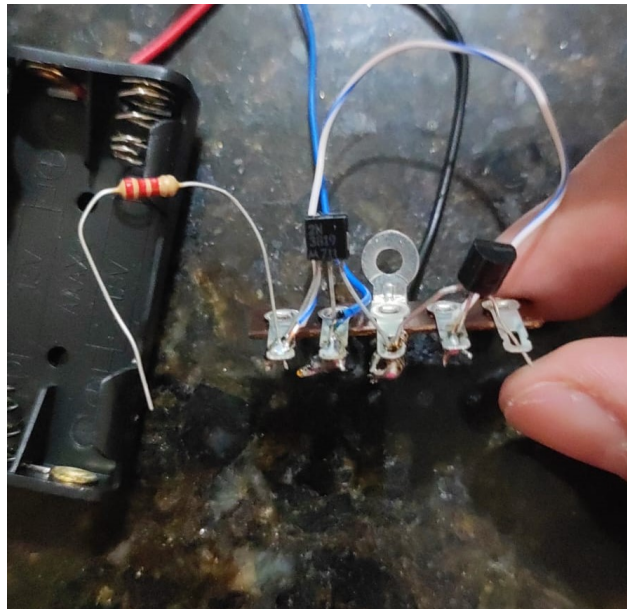


Figura B.4: Disposição de alguns soldados.

o circuito montado pode ser representado na Figura B.6, de modo que, ao colocar as pilhas no suporte, tomando o devido cuidado com as polaridades delas, e acionando a chave gangorra, o eletroscópio está pronto para uso.

Para entender o funcionamento do circuito, deve-se, antes de qualquer coisa, entender o funcionamento dos componentes que o integram. Baseado em [26], temos que:

1. Transistores

- Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do transistores, de um modo geral, consiste em analisar o movimento dos elétrons livres e lacunas no interior do componente, provocados pela aplicação de uma diferença de potencial externa em seus terminais.

Naturalmente, o movimento dos portadores de carga está relacionado com a

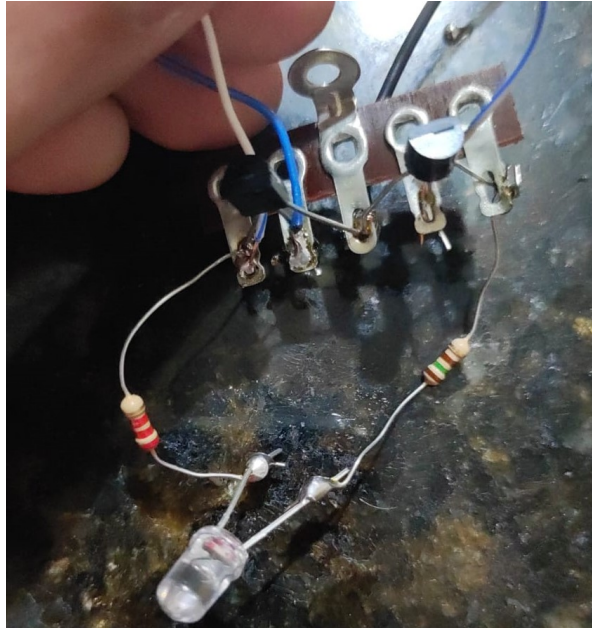


Figura B.5: Adição de alguns componentes nos ramos do circuito por meio da solda.

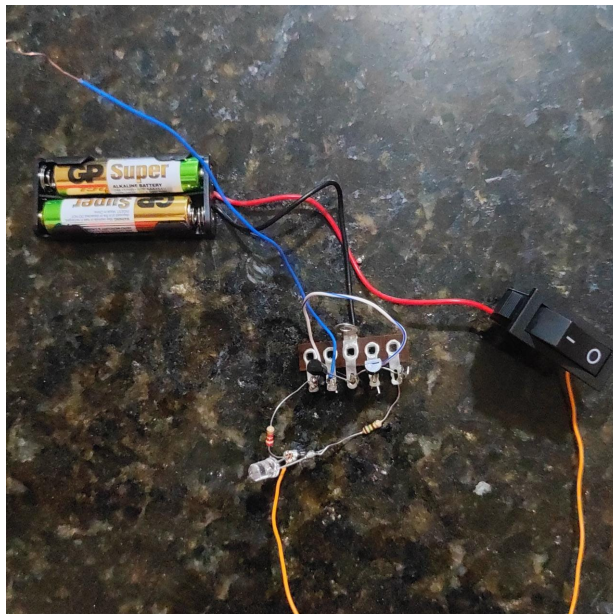


Figura B.6: Circuito finalizado, mas desligado por meio da chave gangorra.

polaridade da tensão aplicada, razão pela qual, um transistor do tipo NPN tem tensão de funcionamento diferente da de um transistor do tipo PNP.

- Semicondutores

Objetos (como é o caso dos transistores) que podem apresentar características de isolante ou de condutor, dependendo da estrutura química que forma o objeto.

Além disso, semicondutores são formados por átomos que possuem quatro elétrons na sua camada de valência. Esses átomos, por sua vez, possuem a tendência de se agruparem formando uma estrutura cristalina.

Quando os átomos dos semicondutores são dopados com átomos que possuem

mais de quatro elétrons na última camada, forma-se uma estrutura cristalina denominada cristal N. O excesso de elétrons (os que excedem o número de quatro elétrons) tem a característica de se libertar facilmente.

O contrário também é válido: a utilização de átomos com menos de quatro elétrons na camada de valência para o processo de dopagem da origem a uma formação denominada cristal P.

- Bandas de energia

As bandas de energia de um semiconductor pode ser resumida em três partes: a primeira constitui a banda de valência, onde estão presentes os elétrons livres do cristal N, a segunda, constitui uma barreira de potencial, região proibida que os elétrons não podem estar, e a terceira, a região de condução, que fica deficiente de elétrons, ou seja, o cristal P.

Aos poucos, e devido a energia potencial elétrica acumulada entre a banda de valência e a banda de condução, alguns elétrons conseguem atravessar essa barreira de potencial, saindo da banda de valência para a de condução, tornando-se capazes de conduzir eletricidade.

- Elétrons e lacunas

Com esse fluxo de elétrons da banda de valência para a de condução, o material torna-se ligeira e momentaneamente um condutor, por isto, ele é chamado de semiconductor.

Os elétrons que saem da banda de valência deixam uma lacuna, que corresponde a uma carga positiva (ausência de carga negativa). Quando outro elétron ocupar esta lacuna, ocorre uma deslocação da carga positiva.

Todo esse comportamento é muito sutil e pode ser facilmente alterado quando o material que compõe os transistor sofre alguma alteração, isto é, quando eles são dopados ¹ com átomos de outras substâncias.

- Dopagem

Ao introduzir uma impureza (dependendo da substância que for introduzida), duas coisas podem acontecer: ou essa impureza doa elétrons para a banda de condução, ou ela recebe elétrons da banda de valência.

Se ele doar elétrons para a banda de condução, o cristal passa a conduzir eletricidade em virtude dos elétrons na banda de condução. Assim ele é chamado de cristal tipo N, devido a carga negativa dos elétrons.

Entretanto, se os cristais da banda de valência doarem os elétrons para a impureza, então novas lacunas surgirão nessa banda, caracterizando um cristal tipo P. Devido a carga líquida positiva de cada buraco.

Para os cristais tipo N, são observados poucos buracos em sua banda de valência. Esses buracos, são chamados de buracos minoritários, já os elétrons, de elétrons majoritários, devido a sua grande quantidade.

Já para um cristal tipo P, o que ocorre é o contrário: os buracos da banda de valência tornam-se portadores majoritários enquanto que os elétrons na banda de condução são denominados como minoritários.

- Junção PN

¹dopagem é um procedimento de adição de impurezas na estrutura que forma o material, com o intuito de alterar suas propriedades elétricas, mas de maneira controlada.

Quando ocorre um junção de um cristal tipo P com um cristal tipo N em um mesmo semiconductor (essa é uma característica básica dos transistores), tem-se a formação de uma junção PN.

Após a junção dos materiais P e N, ocorre um “acomodamento” químico entre esses cristais: na região de junção, alguns elétrons livres saem da região N (elétrons majoritários), até as lacunas mais próximas da região P (buracos majoritários), formando a barreira de potencial, conforme a Figura B.7.

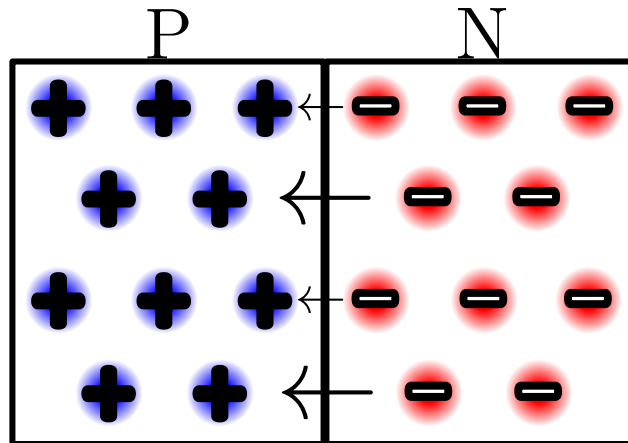


Figura B.7: união dos elétrons livres com as regiões positivas, que possuem ausência de elétron, na região próxima a união dos cristais P e N.

Ao aplicar uma diferença de potencial entre os cristais P e N ela pode: favorecer o acumulo de cargas entre as proximidades da barreira, caso seu polo positivo esteja ligado N, que já possui elétrons livres, ou diminuir a barreira, caso seu polo positivo seja ligado ao cristal P, que possui as lacunas, completando-as e permitindo o fluxo de corrente, que será grande, devido aos elétrons que estavam acumulados na barreira.

- Transistores de Efeito de Campo - 2N3819 e sua atuação no circuito

De modo geral, um transistor atua como uma válvula de corrente, permitindo que a corrente flua a partir do terminal *Drain* para o *Source*, por meio do potencial que é aplicado no terminal *Gate*. Um potencial de cerca de $0,7V$ (a depender do material de que é feito o transistor) geralmente é o suficiente para permitir um fluxo de corrente de 100% através do circuito.

No caso do eletroscópio, a tensão aplicada no terminal *Gate* é dada por um sinal elétrico, o que o torna muito sensível. Qualquer presença de tensão que chegue até sua perna *Gate*, é capaz de preencher as lacunas, atingir o potencial mínimo de $0,7V$ e permitir que a corrente flua entre os outros dois terminais.

Por mais que o instrumento seja muito sensível, o sinal elétrico, por vezes, pode variar um pouco para mais ou para menos do $0,7V$ necessários, ou seja, é possível ver, em certos momentos, um brilho maior do LED do circuito, porque a corrente que flui é maior. Mas por vezes, o sinal elétrico não atinge os $0,7V$ necessários, fazendo com que apenas uma parte da corrente seja liberada, resultando em um brilho não tão intenso.

- O BC337 atuando no circuito

Para o BC337, o funcionamento é análogo ao do 2N3819: ao receber um sinal elétrico no terminal *Base*, ele fará a corrente fluir através dos outros dois terminais. Vale ressaltar aqui que, como o BC337 é um transistor do tipo NPN, o terminal *Base* deve receber um potencial superior ao terminal *Emitter*. Já com transistores PNP, a lógica é invertida, conforme representado na imagem a seguir.

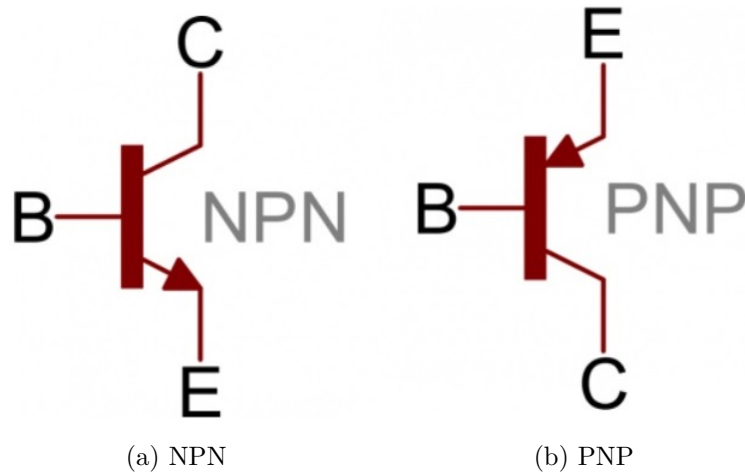


Figura B.8: A figura expõe o sentido da corrente elétrica por um [B.8a](#) transistor NPN e [B.8b](#) transistor PNP. Fonte: Learn Sparkfun

No eletroscópio, a presença deste transistor é o que fará o LED brilhar. A corrente elétrica proveniente das pilhas encontra-se “presas” no terminal *Collector*, de modo que, quando ele recebe o sinal positivo do 2N3819, por meio da presença de cargas elétricas em sua perna *Base*, ele permitirá que a corrente das pilhas atravessasse até seu terminal *Emitter*, fechando o circuito, fazendo o LED acender.

2. LED

Do inglês *Light Emitting Diode* (LED) significa diodo emissor de luz. Ao ser atravessado por uma corrente elétrica diretamente polarizada, ou seja, o polo positivo da corrente passando primeiramente pelo polo positivo do LED (que pode ser identificado como sendo o terminal de maior comprimento), faz com que o LED emita luz no comprimento de onda visível. As mais comuns são: vermelho, verde amarelo, laranja ou branco.

O funcionamento deste tipo de diodo é, em parte, semelhante ao funcionamento do transistor. Assim como este, aquele também possui elétrons livres e lacunas que podem ser preenchidas. Quando seus terminais estão sujeitos a uma diferença de potencial, os elétrons livres são excitados ocupando as lacunas próximas a junção PN. Essa energia é liberada posteriormente, na forma de calor e fótons que, ao chegar até os nossos olhos, nos permite enxergar o brilho do LED.

Para o eletroscópio em questão, o LED é da cor verde, e deve ser trabalhado com uma diferença de potencial de 2,5V.

3. Fios e cabos condutores

O fio condutor é o nome dado a um único fio, rígido, capaz de conduzir corrente elétrica. Geralmente, sua área de seção transversal tem que ser um tanto maior, quanto maior for a intensidade da corrente elétrica que será conduzida por ele.

Os cabos condutores são formados pela união de vários fios juntos, e entrelaçados, tornando um material flexível. Sua utilidade é a mesma: a de conduzir corrente elétrica.

No circuito em questão, foram usados fios condutores, muito embora o suporte para pilhas já possui cabos condutores em seus terminais.

4. Antena

Antena é o nome dado a qualquer dispositivo capaz de receber ou emitir um sinal elétrico. No caso do eletroscópio, um fio condutor cumpre o papel da antena.

As antenas são classificadas como emissoras quando ligadas a um circuito transmissor de sinais elétricos, tais como rádios, e são classificadas como receptoras, quando ligadas a um circuito capaz de captar as ondas que foram emitidas até ela, e então, decodificar-las em sinais elétricos.

5. Pilhas e suporte para pilhas

Pilhas são dispositivos capazes de produzir corrente elétrica a partir de reações de oxidação e redução. Para a confecção do eletroscópio, foram usadas duas pilhas de 1,5V cada, anexadas no suporte para pilhas, objeto que torna mais eficiente a alocação das pilhas e a condução da corrente elétrica gerada por elas através do circuito.

6. Resistores

De modo geral, resistores são usados para diminuir a corrente elétrica que atravessa um ramo por meio do Efeito Joule ². Conforme a figura B.1 o resistor de 150Ω atua diminuindo o potencial da fonte, garantindo o funcionamento adequado do LED, longe do seu potencial limite permitido, enquanto que o resistor de 2200Ω, atua diminuindo o potencial da que flui da fonte, passando pelo 2N3819, até o aterramento. Caso o resistor não estivesse ali, quando o circuito fosse fechado, a tensão que sai do polo positivo da fonte, ao passar pelo 2N3819, voltaria para o polo negativo, gerando um curto.

7. Ponte de terminais

A ponte de terminais serve como uma ligação entre os terminais dos componentes elétricos. No caso do eletroscópio, a ponte possuía 5 conexões, onde foram fixados, além dos terminais dos transistores, outros componentes, de modo que o circuito fique mais organizado.

Pelo fato de não ser um componente eletrônico, a ponte de terminais não possui uma representação nos diagramas que descrevem os circuitos elétricos, tornando o professor livre para aplicá-la da forma que achar mais conveniente, escolhendo portanto, quais componentes serão soldados em seus terminais. Para o circuito em questão, foram soldados os transistores.

²Efeito Joule é um fenômeno físico em que a passagem de corrente elétrica por um material faz elevar a sua temperatura, aumentando por sua vez, a agitação térmica das moléculas, e conseqüentemente, diminuindo a passagem de corrente pelo material.

8. Chave gangorra

Assim como os transistores, esse tipo de chave permite a passagem, ou não de corrente elétrica no circuito, entretanto, seu funcionamento é bem mais simples do que o de um transistor. A chave possui duas posições: 0 que indica que a corrente está impedida de passar, e 1, que indica que a corrente pode fluir normalmente, sendo que, essas posições podem ser controladas pela própria pessoa.

De modo geral, o circuito tem um funcionamento bem simples: ao carregar a caneta, esfregando-a no cabelo, por exemplo, e aproximando da antena, uma indução de cargas será provocada em sua extremidade, que será conduzida até uma das pernas do transistor 2N3819 que, ao receber esse sinal, irá acionar o transistor BC337, fazendo com que ele permita a liberação de corrente elétrica no circuito por meio das pilhas. Essa corrente elétrica irá acender o LED, mostrando que, um objeto carregado foi aproximado da antena, permitindo concluir que, aquele objeto, tinha cargas livres. Ao afastar o objeto carregado, o estímulo é perdido, então o 2N3819 deixa de mandar informação para o BC337, que por sua vez, impede a passagem de corrente pelas pilhas, fazendo o LED se apagar.

Ao aproximar um objeto com cargas positivas perto da antena, nada acontecerá, uma vez que, as cargas positivas não indicam a presença de cargas de fato, mas sim, a ausência de elétrons, razão pela qual o LED não irá brilhar.

A compreensão detalhada do funcionamento do circuito pode ser encontrada no artigo original [25], mas para uma aplicação para os alunos do ensino médio, os detalhes sobre o funcionamento dos componentes pode ser deixados de lado, em vista da aprendizagem sobre cargas elétricas, mas evidentemente, a curiosidade por tentar explicar o funcionamento com mais detalhes sobre o circuito pode, e deve, ser usado como fonte de motivação para o processo ensino-aprendizagem dos alunos.

Apêndice C

Sugestão de montagem simplificada

A montagem do eletroscópio conforme exposta no [Apêndice B](#), exige materiais que podem ser de difícil acesso para o professor, bem como o manejo do ferro de solda por parte dos alunos. Por esse motivo, pode-se construir o eletroscópio de uma maneira simplificada, usando os seguintes materiais:

- Suporte para pilhas AAA de 1,5V
- Duas pilhas alcalinas AAA de 1,5V
- fios condutores (jumpers)
- Protoboard
- Resistor 2200Ω por 1/4 Watts
- Resistor 150Ω por 1/4 Watts
- LED de alto brilho 5mm verde
- Transistor BC337
- Transistor 2N3819
- Caneta

Tendo todos os componentes em mãos, a montagem se assemelha muito com a que foi feita no [Apêndice B](#), com exceção de que, agora os componentes não serão soldados. Assim sendo, basta seguir as ligações indicados na [Figura C.1](#), e fazer as conexões na protoboard ¹, tomando os devidos cuidados com as pernas dos transistores.

Tomando como ponto de partida a fonte do circuito da [Figura C.1](#), deve-se conectar o fio vermelho do suporte para pilhas (ainda sem as pilhas conectadas) na trilha positiva (com o sinal +) da protoboard e o fio preto deste mesmo suporte, na trilha negativa (com o sinal -) da protoboard, ao lado da trilha positiva. Feito isso, pode-se conectar, por meio de um fio condutor, a trilha positiva com o restante da placa, conforme a [Figura C.2](#).

¹Protoboard, também conhecida como matriz de contatos ou placa de prototipagem [27], é uma placa que possui furos e conexões internas para montagem de circuitos, utilizada para testes com componentes eletrônicos. O fato de não utilizar solda, permite conectar e desconectar os componentes com facilidade e agilidade, introduzindo ou retirando-os dos furos da placa respectivamente.

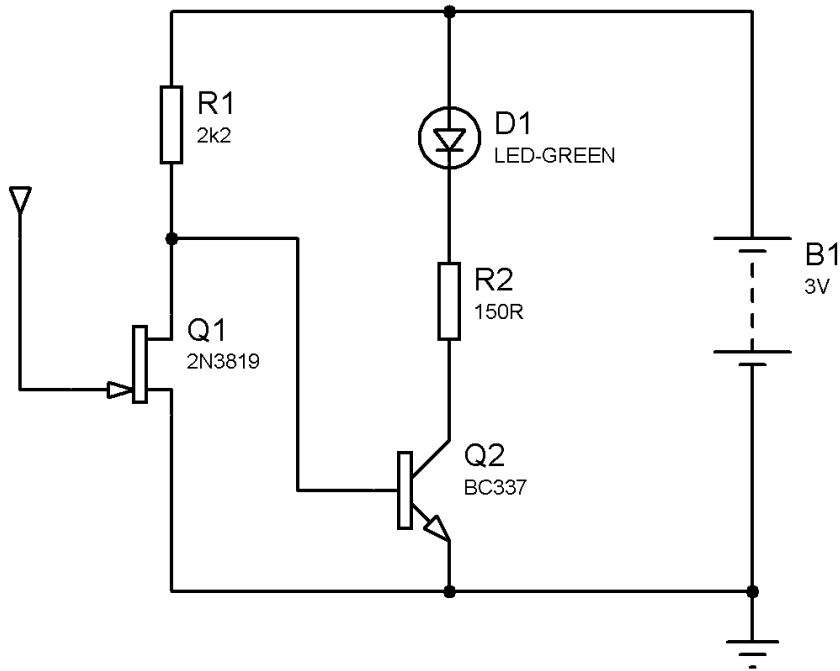


Figura C.1: Representação do eletoscópio de maneira simplificada.

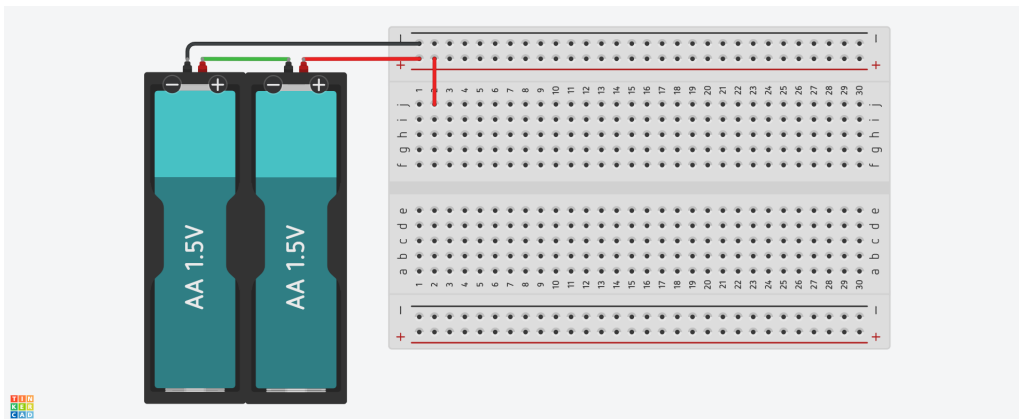


Figura C.2: Disposição de alguns componentes na protoboard.

Da trilha positiva (para esta montagem, é a trilha de número 2), devem-se sair dois ramos: um para o LED e outro para o resistor de 2200Ω . Tomando o cuidado que, o primeiro ramo deve ser conectado no polo positivo do LED, representado pela perna de maior comprimento do mesmo (na imagem C.3, o polo positivo é representado por um terminal torto). Assim, construindo os dois ramos, o primeiro com o LED e o resistor de 150Ω e o segundo, apenas com o resistor de 2200Ω , obtemos o circuito representado pela Figura C.3.

Dando sequência, deve-se conferir os terminais dos transistores, de acordo com o manual, ou conforme mostrado nas Figuras B.2a e B.2b. Assim, posicionando a extremidade *Collector* do BC337 (representado pelo transistor com a letra “N”) em série com o ramo que possui o LED e o resistor de 150Ω , e posicionando o terminal *Drain* do 2N3819 (representado pelo transistor com a letra “P”) em série com o ramo que possui apenas o resistor

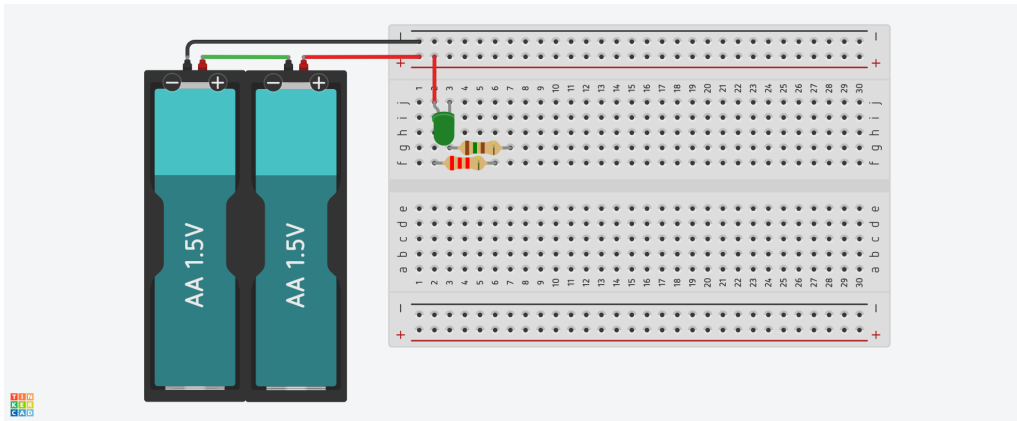


Figura C.3: Processo de montagem do eletroscópio.

de 2200Ω , além de terminar de ligar os outros ramos, fechando o circuito, obtemos a configuração mostrada na Figura C.4:

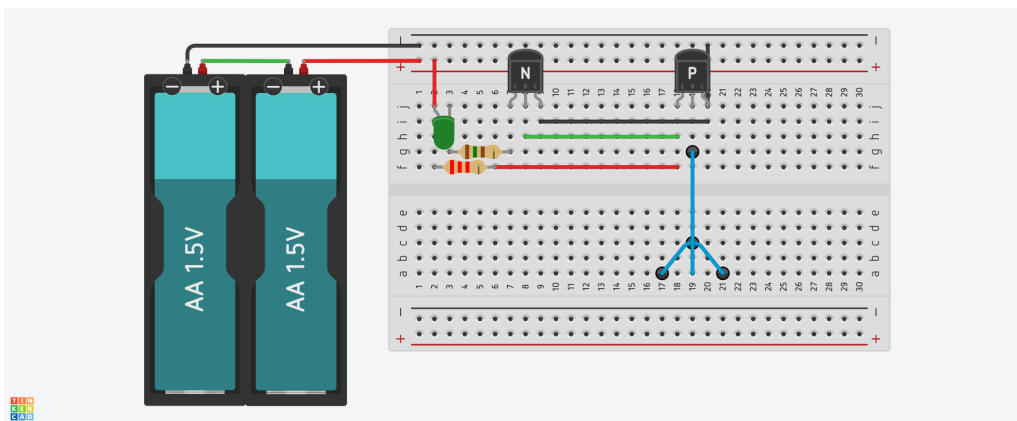


Figura C.4: Circuito completo

Note que, o fio condutor de cor azul, está em destaque na Figura C.4, isto porque, ele atua como antena nesse circuito, recebendo o sinal elétrico e enviando para os transistores, que por sua vez, permitem a passagem de corrente elétrica das pilhas para o LED, de maneira análoga ao funcionamento do circuito do [Apêndice B](#). Assim sendo, para este circuito funcionar, basta inserir as pilhas no suporte, conectadas com a polaridade da maneira correta, e aproximar a caneta carregada (após esfregá-la no cabelo, por exemplo) da antena do circuito. Uma versão do circuito funcionando pode ser visto através da Figura C.5:

Como este circuito não possui uma chave gangorra, então ele pode ser ligado e desligado por meio da conexão ou desconexão das pilhas de seu respectivo suporte, impedindo que a corrente elétrica flua pelo circuito. Além, todo seu funcionamento, quando ligado e funcionando, ocorre de maneira idêntica ao circuito feito no [Apêndice B](#).

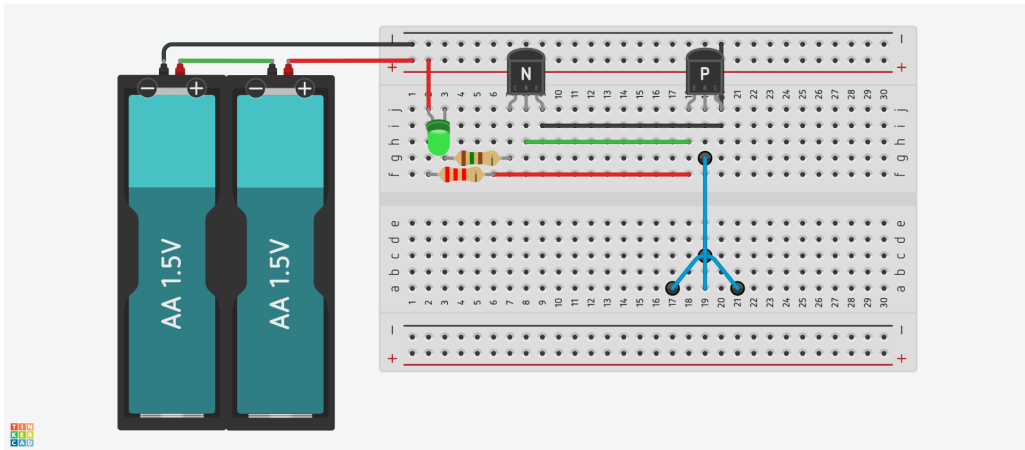


Figura C.5: Reação do circuito a um estímulo elétrico.

Referências Bibliográficas

- [1] P. Freire, *Pedagogia do oprimido*. Paz e Terra, 2014.
- [2] M. C. Batista, P. A. Fusinato, and R. B. Blini, “Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física,” *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, vol. 31, no. 1, pp. 43–49, 2009.
- [3] M. S. T. d. Araújo and M. L. V. d. S. Abib, “Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades,” *Revista Brasileira de ensino de física*, vol. 25, no. 2, pp. 176–194, 2003.
- [4] A. Zabala, E. da F. Rosa, and N. Farenzena, *A prática educativa: como ensinar*. ARTMED, 1995.
- [5] P. Goergen, “A pesquisa educacional no brasil: dificuldades, avanços e perspectivas,” *Em aberto*, vol. 5, no. 31, 1986.
- [6] B. S. T. Federal *et al.*, *Constituição da República Federativa do Brasil*. Supremo Tribunal Federal, 1988.
- [7] C. N. da Educação *et al.*, *Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica*. Conselho Nacional da Educação, 2013.
- [8] C. N. da Educação *et al.*, *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base*. Conselho Nacional da Educação, 2017.
- [9] C. N. da Educação *et al.*, *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Conselho Nacional da Educação, 1997.
- [10] H. M. Nussenzveig, *Curso de física básica: eletromagnetismo*. Editora Edgard Blücher Ltda, 2015.
- [11] E. Lage, “Eletrostática,” *Revista de Ciência Elementar*, vol. 9, no. 1, 2021.
- [12] C. C. Silva and A. Pimentel, “Benjamin franklin e a história da eletricidade em livros didáticos,” *ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA*, X, 2006.
- [13] J. D. Jackson, *Classical electrodynamics*. John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [14] C. A. d. Santos, “A participação de fletcher no experimento da gota de óleo de millikan,” *Revista brasileira de ensino de física*. Vol. 17, n. 1 (1995), p. 107-116, 1995.
- [15] D. J. Griffiths, “Introduction to electrodynamics,” 2005.

- [16] R. P. Feynman, R. B. Leighton, and M. Sands, “The feynman lectures on physics; vol. i,” *American Journal of Physics*, 1965.
- [17] M. A. B. Braga, A. G. Moraes, and J. C. Reis, “O papel dos livros didáticos franceses do século xix na construção de uma concepção dogmática-instrumental do ensino de física,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 2008.
- [18] J. d. P. ALVES FILHO, T. d. F. PINHEIRO, and M. PIETROCOLA, “A eletrostática como exemplo de transposição didática,” *PIETROCOLA, M. Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: ed. da UFSC*, 2001.
- [19] K. YAMAMOTO and L. F. FUKU, *Física para o ensino médio: eletricidade e física moderna*. Editora Saraiva, 2016.
- [20] A. Gaspar, *Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna*. Editora Atica, 2013.
- [21] A. MÁXIMO and B. ALVARENGA, *Física: contexto e aplicações*. Editora Scipione, 2013.
- [22] G. Bachelard, *A formação do espírito científico*. CONTRAPONTO EDITORA LIDA, 1996.
- [23] J. D. Novak, D. B. Gowin, and J. Otero, “Aprendiendo a aprender,” 1988.
- [24] J. Pontes, “Série triboelétrica.” <https://www.passeidireto.com/arquivo/35402917/serie-triboeletrica>, 2018.
- [25] R. BLANGIS and E. C. DA SILVA, “Montagem de um eletroscópio para fins didáticos,” *Instituto de Física Gleb Wataghin*, 2010.
- [26] M. Martins, “Curso técnico eletrônica analógica,”
- [27] B. Multcomercial, “Protoboard: o que é e como usar.” <https://ipelab.ufg.br/n/156373-protoboard-o-que-e-e-como-usar>, 2020.