

Eletrodinâmica: atividades experimentais multissensoriais visando a inclusão de alunos com deficiência visual

RESUMO

Embora existam leis que visam garantir a inclusão de pessoas com deficiências visuais, sabe-se que frequentemente ela não acontece no contexto escolar. Diante disto, materiais exclusivamente visuais devem ser substituídos por recursos multissensoriais. Utilizar materiais que sejam potencialmente significativos para alunos com ou sem deficiências contribuem para o processo de inclusão na escola. Neste sentido, a perspectiva do Desenho Universal de Aprendizagem (DUA) pode ser considerada, um conjunto de princípios que se baseiam na maximização das oportunidades de aprendizagem para todos os estudantes, por meio do desenvolvimento de métodos e materiais para trabalhar de forma igualitária. Nesta perspectiva, é possível desenvolver recursos educacionais de eletrodinâmica multissensoriais e evitar o uso exclusivo de recursos visuais? Como desenvolver os recursos para ensino de eletrodinâmica segundo o conceito do DUA de modo que estes recursos sejam significativos tanto para alunos com deficiência visual quanto para os demais presentes na sala de aula? Estes recursos têm potencial de contribuir para a aprendizagem da eletrodinâmica? A partir destes questionamentos, este trabalho teve como objetivo a elaboração e desenvolvimento de recursos materiais e instrucionais destinados ao ensino de eletrodinâmica a alunos com deficiência visual, seguindo os pressupostos do DUA. Após a elaboração, as atividades foram desenvolvidas com os alunos a fim de investigar o potencial contributivo do material para o fim a que se destina. As atividades foram desenvolvidas com alunos com e sem deficiência visual com resultados que indicam que elas podem contribuir para a aprendizagem e que o material tem potencial para ser utilizado por alunos com deficiência visual.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrodinâmica. Ensino. Deficiência visual.

Higor Beladrante de Andrade

higor_beladrante@hotmail.com

orcid.org/0000-0001-6853-7646

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná, Brasil

Roseli Constantino Schwerz

rconstantino@utfpr.edu.br

orcid.org/0000-0001-5507-3117

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná, Brasil

Paulo Henrique Sabo

phsabo@utfpr.edu.br

<https://orcid.org/0000-0003-2882-1719>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná, Brasil

INTRODUÇÃO

Quando se discute inclusão, deve-se considerar todos os indivíduos presentes em uma sociedade, todos os grupos historicamente excluídos por gênero, cor, etnia, deficiência, etc. Lamentavelmente, a estrutura social em que vivemos é construída para atender apenas os seres considerados “perfeitos” (MÓL et al., 2020). Portanto, é imprescindível que haja legislação a fim de garantir a integração destes cidadãos na sociedade.

Quanto à inclusão de Pessoa com Deficiência (PcD), há a Lei Brasileira de Inclusão (LBI), o Estatuto da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015). Ela foi criada visando garantir a integração dessas pessoas nas diversas áreas de sua vida civil, como, educação, cultura e lazer. Ainda que exista este e outros dispositivos legais que objetivam promover a inclusão de PcD na sociedade, a exclusão desses cidadãos ainda é frequente, e é o que se pode notar mesmo no contexto escolar.

Sobre a Educação inclusiva, tanto as diferenças das pessoas quanto suas igualdades precisam ser consideradas. Portanto, “[...] nem tudo deve ser igual e nem tudo deve ser diferente” e, deste modo, “[...] é preciso que tenhamos direito de sermos diferentes quando a igualdade nos descaracteriza e o direito de sermos iguais quando a diferença nos inferioriza” (MONTANO, 2004, p. 39). Dessa forma, quando se planeja o desenvolvimento de um recurso educacional, algumas características devem ser pensadas a fim de que, na medida do possível, todos possam utilizá-lo.

Segundo Camargo (2012), é necessário que haja um planejamento das atividades de modo a atender às especificidades de todos os alunos em sala de aula para que realmente seja possível a inclusão. Nesse sentido, a utilização de materiais que possam ser utilizados por alunos com ou sem deficiências permite que todos tenham a possibilidade de participar juntos das atividades, favorecendo a troca de experiências, as discussões e, deste modo, a efetiva inclusão.

Diante das necessidades, uma alternativa para um ensino inclusivo pode ser o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA). O DUA é um conjunto de princípios que se baseiam na maximização das oportunidades de aprendizagem para todos os estudantes, por meio do desenvolvimento de métodos e materiais para trabalhar de forma igualitária. Dessa forma, o professor, ao desenvolver uma atividade específica para um aluno em particular, deve pensar de forma diferenciada para ensinar a os demais com a mesma atividade (ALVES et al., 2013). Logo, “[...] o DUA tem como finalidade o desenvolvimento de práticas pedagógicas que permitam o acesso ao currículo, a participação e o progresso de todos os alunos, independentemente das suas capacidades” (NUNES; MADUREIRA, 2015, p. 132).

De acordo com Zerbato e Mendes (2018, p. 150):

Ao elaborar materiais concretos para o aprendizado de conteúdos matemáticos para um aluno cego, por exemplo, tal recurso, normalmente, é pensado e adaptado para os alunos-alvo da turma, porém, na perspectiva do DUA, o mesmo material pode ser utilizado por todos da sala de aula, de

modo a beneficiar outros estudantes na compreensão dos conteúdos ensinados.

A perspectiva DUA leva em consideração a diversidade dos alunos, de forma a flexibilizar “[...] o acesso aos recursos que os alunos necessitam para aprender” (NUNES; MADUREIRA, 2015, p. 134). Seus princípios se fundamentam em pesquisas de aprendizagem, em que cada aprendiz é considerado distinto um do outro e, dessa forma, busca-se permitir a facilitação ao acesso de todos os alunos ao currículo comum.

[...] para promover a aprendizagem é importante que o professor tenha em consideração as redes afetivas, as redes de reconhecimento e as redes estratégicas. O que significa a importância de o docente organizar a intervenção pedagógica equacionando sistematicamente estratégias diversificadas, de modo a assegurar que todos os alunos se sentem motivados para aprender, que todos têm facilidade em aceder e compreender os conteúdos de ensino e, por último, que todos vivenciam experiências de acordo com as suas necessidades e possibilidades de expressão (NUNES; MADUREIRA, 2015, p. 140).

Diante do apresentado, é possível desenvolver recursos educacionais de eletrodinâmica multissensoriais e evitar o uso exclusivo de recursos visuais? Como desenvolver os recursos para o ensino de eletrodinâmica segundo o conceito do DUA a fim de que eles possam ser significativos tanto para a Pessoa com Deficiência Visual (PcDV) quanto para os demais participantes em sala de aula? Esses recursos têm potencial de contribuir para a aprendizagem da eletrodinâmica? A partir desses questionamentos, este trabalho teve como objetivo a elaboração e o desenvolvimento de recursos materiais e instrucionais destinados ao ensino de eletrodinâmica a alunos com deficiência visual, seguindo os pressupostos do DUA. Após a elaboração, as atividades foram desenvolvidas com os alunos a fim de investigar o potencial contributivo do material para o fim a que se destina.

PROPOSTA DOS RECURSOS EDUCACIONAIS PARA O ENSINO DE ELETRODINÂMICA.

Foram desenvolvidas três atividades práticas sobre (i) diferença de potencial elétrico e resistência elétrica, (ii) associação de resistores e corrente elétrica e (iii) medidas em um circuito elétrico. Essas atividades serão descritas a seguir.

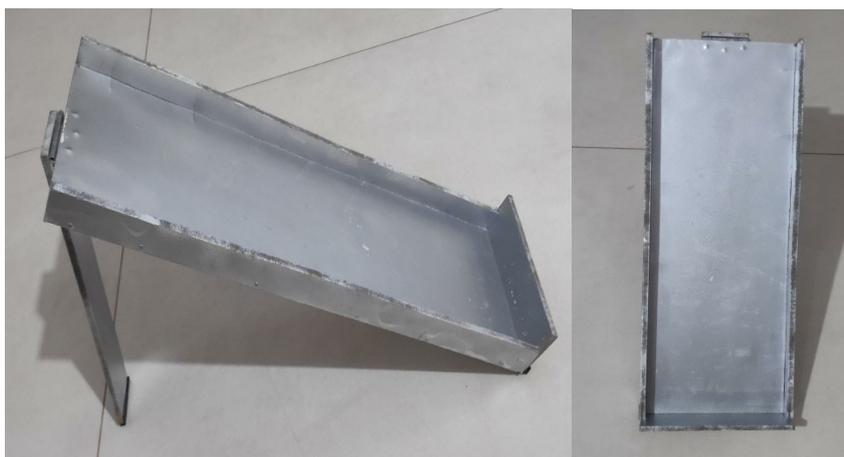
(i) Diferença de Potencial e Resistência Elétrica

Os elétrons livres presentes nos condutores estão constantemente em movimento desordenado. Para que seja possível gerar uma corrente elétrica, com cargas se movendo em um único sentido, é necessário que elas sejam impulsionadas ou atraídas para uma determinada direção. Como não é possível visualizar esse movimento, os conceitos de corrente elétrica e diferença de potencial são frequentemente considerados abstratos pelos alunos. Para se contornar dificuldades como essa, é indicado utilizar analogias “[...] fazendo uso de metodologias diversas com o intuito de abarcar todos os alunos, sem nenhuma conduta segregativa, discriminatória ou capacitista” (SANTOS; CARVALHO; OLIVEIRA, 2022, p. 4-5).

A energia potencial gravitacional é a energia mecânica de um corpo devido à configuração, sua posição em relação à Terra. Uma esfera sem velocidade inicial em um plano não entra em movimento a não ser que haja uma variação de altura entre o ponto inicial e final, ou seja, que ela tenha energia potencial gravitacional. Na eletricidade é algo análogo. Os elétrons livres não entram em movimento ordenado se não houver uma energia potencial elétrica entre os terminais do condutor. Essa energia potencial elétrica existe quando há diferença de potencial elétrico. É análogo à variação de altura para a esfera. No entanto, deve-se observar que no caso da energia potencial gravitacional, a força atuante sobre a esfera é a gravitacional, enquanto no segundo caso temos a força elétrica atuando sobre a carga elétrica.

Para o estudo da diferença de potencial elétrico, foi construído um plano com declive variável (Figura 1). Para isso, utilizou-se uma dobradiça entre as duas partes do aparato de forma a permitir variar a inclinação. Definindo uma inclinação, determina-se a variação da energia potencial gravitacional e permite-se que as esferas rolem plano abaixo. Pela conservação da energia mecânica, quanto maior a altura inicial, maior a variação da energia potencial da esfera ao chegar no término da rampa e também sua velocidade final.

Figura 1: Planos inclinados para estudo da influência das alturas sem presença dos pregos no movimento das bolinhas.



Fonte: Autoria própria (2022).

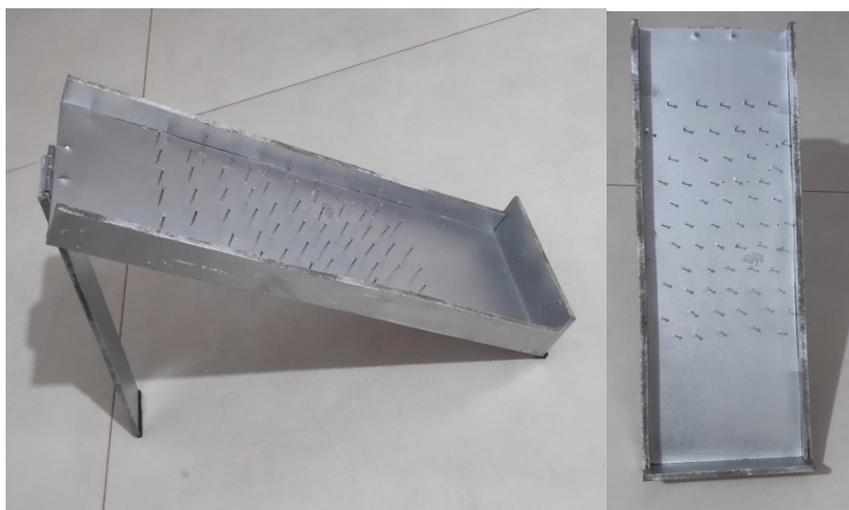
A definição de corrente elétrica encontrada nos livros de Ensino Médio é $i = \Delta q / \Delta t$. Ou seja, a corrente elétrica i é dada pela razão entre o módulo da quantidade de carga q que atravessa a área da seção transversal do condutor em um intervalo de tempo Δt . Portanto, mesmo sabendo que no caso mecânico a velocidade varia durante todo o movimento, é possível fazer a análise: maior inclinação, maior velocidade das esferas, menor o tempo para atravessar a rampa. Assim, teríamos uma “corrente de esferas” maior. Dessa forma, pode-se fazer uma analogia com diferença de potencial elétrico e diferença de potencial gravitacional.

Ao percorrer um fio condutor, os elétrons livres constituintes da corrente elétrica colidem constantemente entre eles e com os átomos do material. Quanto maior a oposição do material à passagem dos elétrons, maior é sua resistividade. No caso dos resistores, dispositivos encontrados nos circuitos

elétricos, sua resistência elétrica depende diretamente da resistividade do material do qual é constituído e do seu comprimento. Contudo, a resistência é inversamente proporcional à área de seção transversal.

O modo selecionado para analisar a resistência elétrica dos materiais e sua influência na corrente elétrica foi inserir uma certa quantidade de obstáculos ao longo do plano inclinado. Utilizou-se pregos equidistantes, de modo que os vãos fossem suficientes para as esferas passassem entre eles com possíveis colisões. O resultado pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Planos inclinados para estudo da influência das alturas e presença dos pregos no movimento das bolinhas.



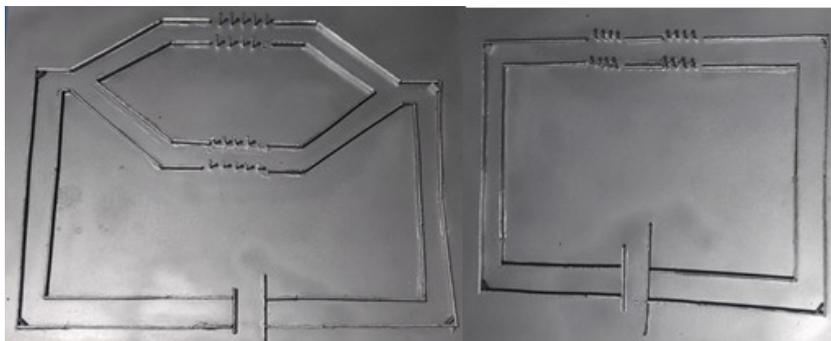
Fonte: Autoria própria (2022) .

(ii) Correntes elétricas em circuitos com associação de resistores em série e em paralelo

Sabe-se que o valor de correntes elétricas em um resistor depende, além do valor da sua própria resistência, do tipo de associação dos resistores. Resistores em série possuem a mesma corrente elétrica, há um único sentido para as cargas elétricas. Já quando os resistores estão em paralelo, a corrente se divide nos diferentes ramos, visto que há mais de uma opção de caminho a ser seguido.

Para se trabalhar o caminho percorrido pelas cargas elétricas nos dois modelos de associações de resistores, foram construídas duas maquetes nas quais tanto as representações dos fios condutores quanto dos resistores permitem a movimentação das esferas, com pode ser visto na Figura 3.

Figura 3: Associações de resistores sendo (a) em série e (b) paralelo para percepção dos alunos a diferença tátil entre as duas associações.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os fios foram representados por “valetas” lisas e os resistores representados pelo posicionamento de pregos (continuando a analogia da prática anterior). Dessa forma, o aluno pode encaminhar as esferas (representações dos elétrons livres) por todo o circuito e analisar quando e por que a corrente elétrica nos resistores pode possuir valores iguais ou distintos de acordo com o tipo de associação.

(iii) Medidas em circuito elétrico com comunicação sonora

Frequentemente o estudo de circuitos é realizado com a utilização de *protoboard* convencional. Contudo, para alunos iniciantes, e principalmente alunos com deficiências visuais, a *protoboard* não se mostra muito intuitiva, pois as ligações entre os pontos de contato não são possíveis de serem identificados visualmente ou de modo tátil. Além do mais, os pontos de contato são pequenos, dificultando a inserção dos terminais dos dispositivos.

Diante disso, foi desenvolvido um quadro para montagem de circuitos em uma escala maior que da *protoboard*, de dimensão 40x25cm (Figura 4). Para os pontos de contato foram utilizados bornes tipo “banana”. Para evitar o risco de choque elétrico, as conexões entre os pontos foram dispostas entre duas placas de acrílico. Dessa forma consegue-se manter a informação visual das conexões ao mesmo tempo que os fios ficam isolados. Para o uso de pessoas com deficiências visuais, as posições dos fios foram reproduzidas com cola quente na parte superior do quadro, de modo que o usuário pode os identificar de forma tátil.

Figura 4: Quadro para construção de circuitos elétricos.



Fonte: Autoria própria (2022) .

Os elementos do circuito, como fios condutores e resistores, foram fixados em placas (confeccionadas em impressão 3D), como é visto na Figura 5.

Figura 5: Resistores e fio fixados em placa desenvolvida em impressora 3D.

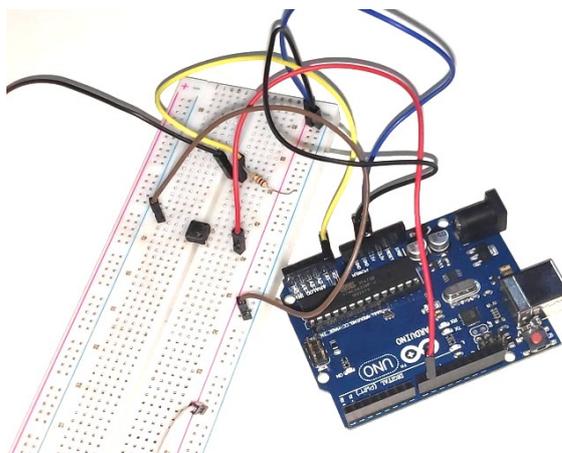


Fonte: Autoria própria (2022) .

Os medidores de tensão e resistência convencionais utilizados nos laboratórios de eletricidade são os multímetros. No caso de um aluno com deficiência visual a dificuldade está em receber os dados, pois a informação neste equipamento é visual. Além do mais, a visibilidade muitas vezes é limitada pela baixa iluminação do visor assim como pelo tamanho da fonte texto utilizada.

Para contornar essa dificuldade, foi desenvolvido um medidor via placa *Arduino* (Figura 6).

Figura 6: Arduino Uno e a montagem do circuito na protoboard.



Fonte: Autoria própria (2022).

Ao inserir o dispositivo no circuito para a obtenção dos dados, o usuário tem a possibilidade de receber de forma auditiva os valores de tensão e de corrente. Dessa forma, os alunos com deficiências visuais podem ter mais autonomia para as medições.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa sobre a utilização dos recursos educacionais para ao ensino de eletrodinâmica é um estudo de caso em uma aplicação com duração de 5h/aula nas quais foram trabalhados os conteúdos teóricos, juntamente às atividades práticas.

Neste trabalho foi desenvolvido um conjunto de materiais físicos a serem utilizados no ensino de eletrodinâmica. Com apenas um conjunto, o número de alunos que participou do processo de aplicação precisou ser reduzido, pois priorizou-se a possibilidade de exploração manual destes materiais por aluno participante.

Com o intuito de avaliar as atividades por alunos sem contato prévio com o conteúdo e também por alunos com certo conhecimento sobre o tema, já o tendo estudado em sala de aula, foram escolhidas as turmas do segundo ano e terceiro ano do Ensino Médio, às quais o professor realizou o convite para a participação. As atividades foram desenvolvidas no período contra turno e participou um aluno de cada turma (2º e 3º ano). Como forma de organização e mantendo o anonimato dos discentes, denominou-se estes alunos de A1 e A2, respectivamente.

Visto a necessidade de uma PcDV avaliar os recursos educacionais, já que foram desenvolvidos para este público, foi convidado um aluno do segundo período de engenharia. Com deficiência visual desde muito pequeno, o aluno participante possuía apenas 4% e 6% da visão em cada olho. Denominou-se este aluno de A3.

As atividades adaptadas ao aluno com deficiência visual puderam ser realizadas também pelos demais alunos, visto que foram desenvolvidas segundo a perspectiva do DUA. Em relação ao dia da aplicação, A1 e A2 participaram juntos e A3 separadamente, pois este último se encontrava em outra cidade.

O trabalho utilizou uma abordagem qualitativa, na qual prevalece os dados descritivos (LÜDKE; ANDRE, 2013). Neste sentido, a coleta de dados deste trabalho ocorreu por meio de gravação de áudio, observações do professor e questionários, tanto em relação aos resultados obtidos na atividade, quanto à usabilidade do material utilizado.

Nessa abordagem, também deve-se considerar que:

[...] o sujeito participante da pesquisa é compreendido a partir de sua expressão aberta, autêntica, capaz de expressar seus desejos, necessidades e contradições, processos esses que não aparecem de forma direta na palavra, mas através de elementos indiretos que recebem significado pela interpretação do pesquisador (REY, 2010, p. 333).

Por fim, a análise dos dados descritivos foi realizada em um processo indutivo, na qual “A tarefa [...] implica, num primeiro momento, a organização de todo o material, dividindo-o em partes, relacionando essas partes e procurando identificar nele tendências e padrões relevantes” (LÜDKE; ANDRE, 2013, p. 53).

APLICAÇÃO DOS RECURSOS EDUCACIONAIS

Nesta subseção é relatada a aplicação das atividades práticas com os alunos utilizando os recursos educacionais desenvolvidos.

O professor iniciou a aula questionando conceitos de eletricidade. Os retornos não serão apresentados neste momento, mas serão detalhados ao final deste relato em uma análise comparativa entre as respostas de antes e depois das atividades.

Utilizando-se da discussão inicial, pôde-se aferir que os alunos não possuíam muito conhecimento em relação aos conceitos de corrente elétrica e constituição de um átomo. Uma maquete 3D representando o átomo de Bohr foi disponibilizada a eles. A maquete evidenciava um núcleo positivo e coeso, composto por prótons e nêutrons, e uma eletrosfera na qual elétrons se movimentam em órbitas específicas. Nesse momento, foi discutida a ligação dos elétrons com o núcleo, sendo os mais externos mais fracamente ligados. Esses teriam maior facilidade para se “desprenderem” do átomo. Ou seja, tratando-se de materiais metálicos, as correntes elétricas são constituídas pelos elétrons mais externos, os chamados elétrons livres.

Seguindo a discussão, questionou-se os alunos se eles já tinham ouvido falar em diferença de potencial elétrico e como ela estaria presente no nosso dia a dia. Um único aluno (A2) mencionou “através da tensão”. Cabe lembrar que este aluno já havia estudado este conteúdo, pois estava no terceiro ano do Ensino Médio.

Foi apresentado o plano inclinado variável (ver Figura 1) com as bolinhas de gude e eles questionados como poderiam relacionar a tensão elétrica com o material disponível. As respostas foram:

A1: Balançando o experimento.

A2: Eu acho que inclinando.

A3: Não consigo explicar, tenho algo na minha cabeça, mas não sei dizer.

O professor levantou a questão de o que ocorreria com as bolinhas de gude se a rampa fosse inclinada. Todos mencionaram que isto faria com que as bolinhas se movimentassem, descessem o plano. E, fazendo analogia com a eletricidade, os questionou o que poderiam representar as esferas se deslocando de um lado para o outro da rampa. Eles responderam:

A1: Energia.

A2: Os elétrons passando.

A3: Os elétrons.

Os alunos A2 e A3 não conseguiram nas questões iniciais definir o que seria corrente elétrica. Pode-se notar que agora foram capazes de fazer a analogia e identificar que o elétron constitui a corrente elétrica.

Seguindo, o professor utilizando uma segunda rampa, com pregos (ver Figura 2), fez o experimento novamente. Os alunos mencionaram que eram capazes de ouvir as colisões, algo que não ocorria quando não havia resistência (pregos) na descida, com a rampa sem obstáculos. Eles foram questionados sobre o tempo de descida, se era o mesmo do tempo anterior.

A1: Não, neste experimento desce devagar por conta dos pregos.

A2: Não, agora demora mais para as bolinhas chegarem ao fim da rampa.

A3: Não, foi mais lento.

Os questionamentos seguiram: O que atrapalha a descida das bolinhas de gude? Você conseguiu identificar sua função?

A1: Os pregos, dificultam a bolinha de passar.

A2: Os pregos, são os resistores.

A3: As resistências, representadas pelos preguinhos.

Nessa atividade, o objetivo foi fazer analogia de resistência elétrica com pregos e de elétrons com esferas. Após a experiência, foi considerado pelas falas que os alunos conseguiram identificar essas analogias. É interessante ressaltar que o aluno A3, em especial, mencionou que se utilizou da audição para análise da atividade, identificando “mais barulho”.

Durante todo exercício, as perguntas do professor, indicações e observações realizadas pelos alunos foram conduzidas com caráter investigativo. Para

Azevedo (2004,p. 21), em uma atividade investigativa “o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica”.

Utilizando os conhecimentos prévios e as observações levantadas pelos alunos, lhes foi apresentado o que seria diferença de potencial elétrico no cotidiano e como é a analogia com a diferença de potencial gravitacional. Do mesmo modo, foi discutida a função dos pregos na rampa e a analogia com os resistores nos circuitos elétricos.

Após essa etapa, o professor explorou a teoria relacionada à diferença de potencial elétrico e à corrente elétrica. Dois alunos não apresentaram conhecimentos prévio sobre o tema. O terceiro aluno (A2), que já havia estudado este conteúdo em sala de aula, mencionou que “série eu sei que é seguido e paralelo é lado a lado”, mas, segundo ele, na prática não tinha conhecimento.

O aluno com baixa visão relatou que não tinha conhecimento de como eram as associações de resistores, visto que quando estudou este tema na educação básica só lhe foi fornecido material visual. O relato demonstra claramente que o aluno A3 vivenciou um episódio de exclusão escolar. Segundo Mól *et al.* (2020), “o modelo da exclusão é caracterizado pela retirada dos direitos básicos do indivíduo para sua participação efetiva”. Neste caso, A3 foi privado de receber o ensino de forma igualitária como os demais colegas pela inadequação dos recursos utilizados no processo de ensino e aprendizagem. Portanto, mesmo já tendo completado o Ensino Médio, este foi o primeiro momento no qual este aluno pôde ter acesso a este conhecimento.

O processo de exclusão escolar relatado é realidade ainda de grande número de alunos. Os dispositivos legais de inclusão são imprescindíveis, mas não suficientes. Há necessidade de políticas públicas destinadas à efetiva inclusão desses alunos com necessidades especiais no contexto escolar, a fim que de que não fiquem marginalizados em sala de aula. Nesse sentido, é necessário possibilitar ao professor o conhecimento das especificidades dos alunos com necessidades especiais assim como de recursos didáticos adaptados (MARTINS; MARQUES, 2022). A exclusão dos alunos com necessidades especiais principia “[...] nas licenciaturas, sem a discussão específica ou com currículos focados em discussões e debates teórico-metodológicos direcionadas às situações “normais” nas escolas” (SANTOS; CARVALHO; OLIVEIRA, 2022, p. 5, grifo do autor). Portanto, é preciso transformações tanto nas estruturas físicas quanto na formação de professores.

Seguindo as atividades, o professor disponibilizou aos alunos os desenhos em alto relevo de um circuito com resistores em série e um com resistores em paralelo, lhes apresentando as respectivas representações do resistor e da fonte eletromotriz. Depois, exploraram os possíveis caminhos percorridos por elétrons nos dois tipos de associação (ver Figura 3). Para isto, novamente o professor se valeu de utilizar as bolinhas de gude para representar os elétrons percorrendo as “valetas” dos fios e resistores.

Os alunos foram discutindo com o professor algumas características dos circuitos analisados e por fim ele os questionou: quais as diferenças entre a corrente elétrica em um circuito elétrico em série e em paralelo? Eles então responderam:

A1: Ela se separa no paralelo.

A2: No paralelo ela tem dois caminhos para percorrer, em série não.

A3: Um não se divide e o outro divide.

Destacamos ser de suma importância, após as discussões, a explanação teórica com os estudantes, de forma a sistematizar suas conclusões, esclarecendo suas hipóteses, os dados obtidos, argumentações, entre outros detalhes, levando-os à apropriação dos conceitos trabalhados (LAWSON, 2002 apud CARVALHO; SASSERON, 2018). À vista disso, cabe salientar que as atividades foram realizadas sempre em meio ao diálogo, com trocas entre professor e alunos, onde por meio de suas declarações foi possível observar que os conceitos trabalhados foram sendo construídos por meio da atividade e diálogo. Além do mais, foi notável que o uso do material tátil permitiu a participação de todos eles, o que motivou a realização das atividades e favoreceu o processo de ensino e aprendizagem.

A próxima atividade realizada com os alunos foi a construção de circuitos com diferentes associações de resistores. Foi-lhes apresentado o funcionamento do amperímetro, do voltímetro e do ohmímetro por meio da plataforma *Arduino*, obtendo dados de modo sonoro.

Os alunos foram questionados se depois da atividade anterior eles saberiam o que seria um circuito elétrico. As respostas foram:

A1: Um fio com passagem de elétrons.

A2: Passagem de elétrons no resistor.

A3: Através da última atividade, sei que um circuito tem resistores e uma fonte.

Um circuito elétrico pode ser constituído de vários dispositivos elétricos, como capacitor, diodo, *led*, etc. Quando esta questão foi lançada no início da aplicação os alunos não tinham concepção do que seria um circuito. Já neste momento, nota-se que eles conseguem expressar uma concepção de circuito que antes não existia. Assim, chamamos a atenção que, como trabalhou-se somente com resistores, a concepção deles sobre circuito ainda é apenas com resistores.

Iniciando a atividade, foi perguntado se eles sabiam identificar quando um circuito está “aberto” ou “fechado”. As respostas foram:

A1: Sim, porque seguindo o caminho da placa como o professor explicou, dá para ver que em um trecho está sem ligação.

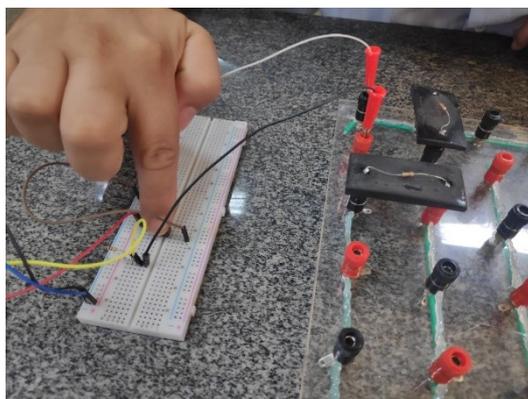
A3: Sim, seguindo o caminho, do positivo até o outro negativo, dá para ver que está aberto o circuito.

Todos os alunos tiveram um pouco de dificuldade no início. O professor procurou permitir que eles chegassem às próprias conclusões, criando e testando suas hipóteses, sem indicar diretamente como deveriam proceder. Por meio dos testes e discussões, eles conseguiram montar os circuitos e realizaram as

medidas. Por suas próprias observações os alunos identificaram as mudanças de tensão nos resistores em função do tipo de associação.

A Figura 7 mostra um dos alunos fazendo as medidas em uma associação de resistores em série.

Figura 7: Aluno realizando a atividade 4 em série.



Fonte: Autoria própria (2022) .

Ao final da atividade, o professor retornou aos conceitos que foram trabalhados, pois é importante que o docente faça “uma sistematização dos conhecimentos envolvidos, abordando todos os conceitos necessários, para a compreensão do experimento e para a resolução do problema” (MOURÃO; SALES, 2018, p. 432).

Finalizando as atividades, as primeiras questões lançadas aos alunos para análise de conhecimento prévio foram realizadas novamente. No Quadro 1, são expostas as respostas neste momento final juntamente com as respostas obtidas anteriormente, a fim de realizar uma comparação.

Quadro 1: Perguntas e respostas dos alunos antes e depois do desenvolvimento das atividades.

	Você sabe o que é uma corrente elétrica?
Antes	A1: O choque que tomamos ao pegar em um fio? A2: Corrente de energia das casas. A3: É uma força que não dá para pegar, que vai passar ou vai sentir se pegar no fio
Depois	A1: Corrente elétrica seria a passagem dos elétrons pelos circuitos. A2: Passagem de elétrons por um fio ligado na tensão. A3: Passagem dos elétrons pelo fio
	Que partículas percorrem um fio quando uma corrente elétrica está passando por ele?
Antes	A1: Eu acho que é o choque. A2: Átomos. A3: Átomos passando com grande velocidade
Depois	A1: Elétrons. A2: Os que formam as correntes elétricas são os elétrons. A3: Os elétrons.
	O que vocês entendem que seja uma resistência elétrica?

Antes	A1: Resistência é do chuveiro, mas não sei explicar. A2: Resistência que esquenta a lâmpada e o chuveiro. A3: A resistência é quanto que aquilo vai aguentar.
Depois	A1: Os resistores dificultam a passagem dos elétrons. A2: A dificuldade que os elétrons têm de se locomover por determinado material. A3: Dificulta a passagem dos elétrons e aquece.
Sabe o que é condutor ou isolante elétrico?	
Antes	A1: A madeira é isolante. A2: Nós não conduzimos choque. A3: Isolantes, isola a energia, como o plástico e condutores que vão conduzir essa energia, como o cobre. Nós seres humanos somos mais condutores do que isolantes porque se relou e está na terra, eu levo um tremendo choque.
Depois	A1: Um condutor é um material que permite a locomoção de elétrons, já um isolante não o permite. A2: Os isolantes eles são materiais que "protegem" os usuários em caso de um choque elétrico, por exemplo se um eletricista usa um alicate de metal com um revestimento de borracha a borracha protegerá o usuário em caso de acidentes elétricos. Condutores, conduz eletricidade como o metal. A3: Isola e conduz eletricidade.

Fonte: A autoria própria (2022).

De modo geral é clara a mudança no padrão das devolutivas dos alunos. Primeiramente eles utilizam termos mais cotidianos ao comentarem sobre corrente elétrica, como “energia” e “choque”. A presença de elétrons não foi mencionada em nenhum momento, em qualquer das questões. Tentando relacionar o movimento de algo em uma corrente elétrica, os alunos ainda equivocadamente mencionam a movimentação de átomos.

Posteriormente às atividades nota-se uma evolução na descrição que indicam indícios de aprendizagem. Fica claro para os alunos o que seria a constituição da corrente elétrica e a concepção do que seriam materiais condutores e isolantes. Estas mudanças de concepções são permitidas diante do direcionamento do professor para uma participação ativa dos alunos, pois a construção do conhecimento científico é “caracterizada por uma permanente interação entre pensar, sentir e fazer” (MOREIRA; OSTERMANN, 1993, p. 109).

Finalizando as atividades didáticas, os alunos foram questionados se teriam algo a dizer sobre as atividades que foram realizadas nesse encontro para estudo de circuitos, e os relatos estão a seguir.

A1: Eu gostei bastante, entendi coisas que antes não conseguia entender, mas, dessa vez, eu consegui por causa do modo prático. Eu gostei muito e achei muito dinâmico e creio que seja um processo muito viável para o ensino de Física.

A2: Achei pertinente. E que a forma foi interessante, por ser um meio bem mais interativo. Entender como funciona o circuito em série e paralelo é bem difícil em sala de aula, mesmo visualizando o desenho no quadro. É difícil, também, entender o porquê a corrente separa, o que seria essa corrente, e hoje eu consegui entender melhor.

A3: Achei prático, bem dinâmico, alcançou o objetivo de não ficar muito no visual, é preciso tatear para sentir os detalhes, foi bem interessante, além do que eu imaginava, e o cuidado na elaboração da placa para não dar choque elétrico é muito bacana.

O aluno A3 ainda comentou o desejo de construir uma *protoboard* em escala aumentada para uso próprio que ele poderia utilizar em sua casa para trabalhar eletricidade e criar circuitos para estudo. Neste caso, a tecnologia permitiu ao aluno com deficiência visual realizar uma atividade que antes lhe era negada, pela dificuldade de manusear um multímetro convencional. Desse modo, além de poder realizar as atividades escolares, o recurso tecnológico possibilitou sua autonomia.

Sabe-se que Tecnologia Assistiva (TA) é qualquer recurso que permite mais autonomia a uma pessoa, sem a qual não conseguiria realizar uma determinada atividade. E no caso das PcDV, esses recursos devem explorar os sentidos de tato e audição (SILVA; MÓL; SANTANA; 2019). Logo, sendo o multímetro convencional um aparelho com informação visual, o desenvolvimento de um dispositivo que fornece a informação auditiva favorece a inclusão da PcDV e sua autonomia.

Avaliando os pontos positivos das atividades e dos recursos utilizados, os alunos mencionaram:

A1: Como dito antes, um dos pontos mais fortes, na minha opinião, é a interatividade, o fato de se poder ver os conceitos, de certa forma, materializadas e manipulá-los.

A2: Os pontos positivos creio que sejam o fato de que se pode aprender tanto ouvindo, quanto olhando... e isso é um ponto muito bom, porque, na minha opinião, mais pessoas podem aprender.

A3: O manuseio, lidar com o sistema foi prático.

Sobre os pontos negativos, as possíveis necessidades de mudanças, eles se expressaram:

A1: Não consigo ver algo negativo, ou que possa ser mudado.

A2: Nada a declarar.

A3: O ponto negativo é que o áudio está um pouco difícil de compreender. Por ser a voz do Windows, está difícil de entender o que é dito. Seria interessante se o software pudesse dizer quando o circuito está em curto, em caso de ligação errada.

Se valendo do que foi apresentado, observa-se que a interatividade, a possibilidade de manuseio dos equipamentos, foi ponto em destaque. Outro ponto seria as analogias com o mundo macroscópico. Como os conceitos de eletricidade são abstratos, as analogias podem auxiliar a “observar” alguns desses conceitos. Como dito por um dos alunos, um ponto positivo foi “o fato de se poder ver os conceitos, de certa forma, materializadas e manipulá-los”.

Por fim, o aluno A3 declarou que mesmo já tendo estudado previamente o conteúdo em sua sala de aula, somente a partir das atividades ele conseguiu finalmente entender os conceitos relacionados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Bonfim e Mól (2021), como geralmente nas aulas os docentes utilizam de forma majoritária as informações de modo visual, eles frequentemente não refletem sobre representações que potencialmente poderiam substituir essas fontes de informação. No mesmo sentido, as aulas práticas também apresentam limitações quanto à acessibilidade e à adaptação. Logo, “[...] os/as alunos/as estão no ambiente, mas não se consideram parte dele, sentem-se excluídos/as das atividades práticas de laboratório” (BONFIM; MÓL; PINHEIRO, 2021, p. 597).

Visando contribuir para o processo de inclusão de PcDV na educação, nesse trabalho foram desenvolvidos recursos educacionais direcionados ao ensino de eletrodinâmica a alunos com deficiências visuais. As informações tradicionalmente visuais foram substituídas para que o aluno pudesse utilizar seus outros sentidos durante as atividades, como audição e tato. Além do mais, alunos videntes puderam explorar o mesmo material visto que, mesmo não tendo habilidades em se utilizar o tato para as observações, as informações visuais não foram prejudicadas, quando se comparando aos métodos tradicionais. Essa possibilidade de utilização por diversos indivíduos com diferentes habilidades e limitações está de acordo com o DUA, que preconiza as informações multissensoriais.

Após analisar os resultados, percebe-se indícios de aprendizagem diante da evolução na apropriação do conteúdo estudado, uma vez que o senso comum deu lugar ao conhecimento científico. Os alunos atuaram ativamente nas atividades, exploraram as possibilidades, discutiram suas observações, caminhando para um conhecimento científico.

Têm-se consciência que cada aluno com deficiência visual é singular, com distintas limitações e aptidões, possuem diferentes características e desenvolvimento (MÓL, *et al.*, 2020). Mesmo assim, acredita-se que os resultados indicam que essas atividades têm potencial para serem empregadas no ensino de eletrodinâmica com alunos que possuem deficiência visual, na medida que se utiliza de recursos não visuais, uma forma diversa de ensino tradicional. Desse modo, espera-se que a proposta apresentada possa colaborar com os aspirações e necessidades de uma Educação inclusiva e participativa assim como para o debate sobre a importância da inclusão dos alunos com deficiências visuais no ensino, de forma a permitir a eles as mesmas oportunidades dadas aos demais.

Electrodynamics: multisensory experimental activities for the inclusion of students with visual impairment

ABSTRACT

Although there are laws to guarantee the inclusion of people with visual impairments, we know that it often does not happen in the school environment. Therefore, visual materials should be replaced by multisensory resources. Using potentially meaningful materials for students with or without disabilities contributes to the school's inclusion process. In this direction, the perspective of the Universal Design of Learning (UDL) can be considered a set of principles based on maximizing learning opportunities for all students through the development of methods and materials to work in an egalitarian way. In this perspective, is it possible to develop multisensory electrodynamics educational features and avoid the exclusive use of visual resources? How to develop resources for teaching electrodynamics according to the UDL concept so that these resources are meant for students with visual impairments and others in the classroom? Do these resources have the potential to contribute to the learning of electrodynamics? Based on these questions, the aim of this work is to create and develop materials and instructional resources for teaching electrodynamics to students with visual impairments, following the assumptions of the UDL. After elaboration, the activities were developed with the students to investigate the potential contribution of the material for its intended purpose. The activities were developed with students with and without visual impairment, indicating that they can contribute to learning and that the material may be used by students with visual impairments.

KEYWORDS: Electrodynamics. Teaching. Visual impairment.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. M.; RIBEIRO, J.; SIMÕES, F.; 2013. Universal Design for Learning (UDL): Contributos para uma escola de todos. **Indagatio Didactica**, Aveiro, v. 5, n. 4, dez. 2013.

AZEVEDO, M. C. P. S. **Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula**. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Thomson, 2004.

BONFIM, C. S.; MÓL, G. S.; PINHEIRO, B. C. S.; A (in)visibilidade de pessoas com deficiência visual nas ciências exatas e naturais: percepções e perspectivas. **Revista Brasileira de Educação Especial**, Bauru, v.27. 2021.

BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. **Estatuto da Pessoa com Deficiência**. Diário Oficial da União, Brasília, 6 jul. 2015.

CAMARGO, E. P. **O ensino de física no contexto da deficiência visual: elaboração e condução de atividades de ensino de física para alunos cegos ou com baixa visão**. 285f. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação. Universidade Estadual de Campinas: Campinas. 2005.

CAMARGO, E. P. **Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de Física**. São Paulo: Editora Unesp, 2012.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, set./dez. 2018.

LÜDKE, M; ANDRE, M. E. D. A; **A Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. Rio de Janeiro: E.P.U., 2013.

MANTOAN, Maria Teresa Eglér. O direito de ser, sendo diferente, na escola. **Revista CEJ – Conelho da Justiça Federal/Centro de Estudos Judiciários da Justiça Federal**, Brasília, v.8, n.26, jul./set. 2014.

MARTINS, F. S.; MARQUES, C. V. V. C. O. A inclusão de estudantes com deficiência visual: concepções dos professores de ciências sobre um contexto real. **ACTIO**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 1-25, set./dez. 2022.

MÓL, G. S.; MORAIS, A. V.; SILVA, W. P.; CAMARGO, E. P. Panorama da Inclusão no Ensino de Ciências de acordo com publicações mais relevantes da Área. **ReSBEnQ**, Brasília-DF, v. 01, n. 1, 2020, jan./dez. 2020

MOREIRA, M. A.; Ostermann, F. Sobre o Ensino do Método Científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 10, n. 2, ago. 1993.

MOURÃO, M. F.; SALES, G. L. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de Física. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v.13, n.5. 2018.

NUNES, C.; MADUREIRA, I. Desenho Universal para a Aprendizagem: Construindo práticas pedagógicas inclusivas. **Da Investigação às Práticas**, Lisboa, v. 5, n. 2, set. 2015.

SANTOS, M. S. B.; CARVALHO, F. A.; OLIVEIRA, A. L. Inclusão de pessoas com deficiência visual e o ensino de ciências e biologia: um estado do conhecimento da temática na pós-graduação. **ACTIO**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 1-25, set./dez. 2022.

SILVA, W. P.; MÓL, G. S.; SANTANA, R. O. A pessoa com deficiência e os recursos de tecnologia. **TICs & EaD em Foco**, São Luís, v. 5, n. 2, jul./dez. 2019.

ZERBATO, A. P.; MENDES, E. G.; Desenho universal para a aprendizagem como estratégia de inclusão escolar. **Educação Unisinos**, São Leopoldo, v. 22, n. 2, abr./jun. 2018.

Recebido: 15 fev. 2023

Aprovado: 02 jun. 2023

DOI: 10.3895/actio.v8n2.16427

Como citar:

Andrade, Higor Beladrante de; Schwerz, Roseli Constantino; Sabo, Paulo Henrique. Eletrodinâmica: atividades experimentais multissensoriais visando a inclusão de alunos com deficiência visual. **ACTIO**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 1-19, maio/ago. 2023. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/actio>>. Acesso em: XXX

Correspondência: higor_belandrade@hotmail.com

Higor Bellafronte de Andrade

Rua Rodrigues Alves, 284, Centro, Mariluz, PR, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

