

Abordagem da Lei de Ohm para Estudantes com Deficiência Visual no Ensino Superior

EDVCATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

M. Velloso^{1,2}, M. Arana², V. Acioly^{1,2}, A. C. F. Santos¹

¹PEMAT, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PO 68530, CEP 21941-909, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

²Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PO 68528, CEP 21941-972, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

E-mail: marciovellosodasilveira@gmail.com

(Recibido el 10 de diciembre de 2020, aceptado el 23 de febrero de 2021)

Resumo

Neste trabalho apresentamos uma proposta de abordagem de conteúdos de Laboratório Introdutório de Eletricidade e Magnetismo aplicada a um estudante de Engenharia da Computação cego que, por conta da sua trajetória escolar, apresentava muitas dificuldades conceituais. Criamos um grupo de pesquisa e elaboramos um projeto piloto a fim de verificar a possibilidade de vencer seus déficits conceituais e avançar para as atividades inerentes ao curso de Laboratório Introdutório de Eletricidade e Magnetismo. Em razão da necessidade de isolamento social provocada pela pandemia da COVID-19, todas as aulas tiveram que ser remotas e todos os materiais produzidos e entregues na residência do estudante precisaram levar em conta essa nova realidade. As atividades, métodos e materiais didáticos desenvolvidos exclusivamente para esse projeto, com base em uma profunda revisão bibliográfica, mostraram-se como um caminho promissor, permitindo a este estudante com deficiência visual participar das principais etapas dos procedimentos experimentais, o mais próximo possível da forma com que os demais estudantes participam, inclusive, montando os circuitos, utilizando multímetros, construindo gráficos marcando pontos e calculando o valor da resistência elétrica através da inclinação da curva levantada..

Palavras-chave: Lei de Ohm, cegueira, Laboratório Introdutório de Eletricidade e Magnetismo, Educação Remota.

Abstract

We present a proposal to approach the contents of an Introductory Electricity and Magnetism Laboratory applied to a blind Computer Engineering student who, due to his school trajectory, presented many conceptual difficulties. We set up a research group and developed a pilot project in order to verify the possibility of overcoming his conceptual deficits and moving on to the activities inherent to the Introductory Electricity and Magnetism Laboratory course. Due to the need for social isolation caused by the pandemic COVID-19, all classes had to be remote and all materials produced and delivered to the student's residence had to take this new reality into account. The activities, methods and teaching materials developed exclusively for this project, based on a thorough bibliographic review, proved to be a promising path, allowing this visually impaired student to participate in the main stages of the experimental procedures, as close as possible to the way with that the other students participate, including assembling the circuits, using multimeters, marking points for the construction of graphs and calculating the electrical resistance value through the slope of the raised curve.

Keywords: Ohm's Law, Visual Impairment, Introductory Electricity and Magnetism Laboratory, Remote Education.

I. INTRODUÇÃO

Quando um estudante cego, após muita dedicação, conquista uma vaga em uma universidade pública, é natural que imagine que esta universidade esteja preparada para atender às suas necessidades, já que, enfim, a vaga foi criada e o mesmo foi admitido [1]. No entanto, é de se imaginar o drama em descobrir que, sequer, há um piso tátil para se locomover pelos corredores da instituição. O estudante em questão foi aprovado no disputado Curso de Engenharia da

Computação em uma universidade brasileira muito renomada e percebeu que os cursos de sua grade não estavam preparados para recebê-lo, tampouco os professores foram avisados da sua presença sendo surpreendidos, na primeira aula, por receberem um estudante cego em sua sala de aula. O efeito psicológico de perceber que, mesmo após anos de discussões, conferências, declarações, leis e estatutos [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] a universidade não está preparada para você, envolve uma sensação não pertencimento a esse mundo acadêmico. Sensação já experimentada em vários aspectos da sua vida social

cotidiana¹, e que faria qualquer estudante pensar em desistir. Estudos sobre os efeitos psicológicos da sub-representatividade de grupos minoritários nos cursos de Física de Ensino Superior podem nos ajudar a entender como um estudante cego percebe a si próprio neste meio acadêmico que já é reconhecidamente excludente para estudantes [12]. É possível imaginar e amplificar estes sentimentos quando se trata de um único estudante cego em uma sala de aula e do primeiro a chegar no Instituto de Física desta universidade para cursar as matérias do ciclo básico nos anos iniciais.

Os estudantes com deficiência estão sempre precisando provar que são capazes, frequentemente sob o julgamento da sociedade que sempre procura atribuir suas falhas a sua deficiência, não tendo o direito de cometer “nem mesmo os erros que aqueles que não têm deficiência cometem” [13 p. 10]. Precisam também esclarecer que a deficiência visual não é sinônimo de uma incapacidade cognitiva e que podem sim pertencer ao ambiente acadêmico e científico. Os seus limites são, na verdade, limites de uma sociedade que não se organiza para receber uma colaboração plural de todos seus integrantes, que muitas vezes desqualifica previamente uma mão de obra com força de trabalho igual ou superior ou não permite seu pleno desenvolvimento, limitando suas perspectivas, seus planos, do direito à vida em toda sua plenitude, obliterando seus sonhos. As escolas e as universidades são elos fundamentais da inclusão e justiça social, constituindo-se, através da educação, no berço da democratização e talvez o último refúgio de uma minoria tão oprimida pela indiferença, pois:

“...sendo uma das funções da educação construir a inclusão social e com ela o desenvolvimento da cidadania, faz-se necessário garantir condições para que a democratização do ensino de qualidade se efetue real e concretamente para todos” [13 p. 17]

No Instituto de Física desta universidade, houve uma movimentação de alguns professores que adaptaram todo o seu curso para que este estudante pudesse ser atendido da melhor forma possível, situação análoga também narrada na ref. [1], dispendendo muito esforço e dedicação a fim de tentar adaptar suas práticas pedagógicas às necessidades específicas deste estudante. O maior desafio ficou por conta dos cursos de Física Experimental, em que os professores precisaram adaptar várias etapas das atividades de laboratório para que o estudante pudesse ter um envolvimento amplo em todos os procedimentos experimentais. Após ter cursado as disciplinas de Física Teórica 1 e Experimental 1 e 2 até o final do ano de 2019, em 2020 as atividades foram interrompidas por conta da pandemia da COVID-19, retornando em meados do ano de modo de ensino remoto.

Esse projeto piloto, portanto, nasce com o objetivo de responder a três questões de pesquisa:

- Pode ser realmente viável a elaboração de atividades experimentais inclusivas de Física que consigam otimizar a participação de estudantes com deficiência visual, permitindo que essa participação se torne mais ativa, tanto na manipulação do experimento quanto na coleta e processamento dos dados?

- Em complemento à questão anterior, seria possível executar a prática didática, com as características acima, através do ensino remoto?

- A metodologia usada para escolher, desenvolver, avaliar e reavaliar tanto os materiais didáticos quanto a prática pedagógica, é um caminho promissor?

Neste artigo apresentamos uma proposta de abordagem de conteúdos de Laboratório Introdutório de Eletricidade e Magnetismo (LIEM) aplicada a um estudante de Engenharia da Computação cego. Na seção II, descrevemos a metodologia utilizada neste projeto e, na seção seguinte, passamos para a descrição das atividades propriamente ditas. Na seção III, exploramos o modelo atômico e o conceito de carga elétrica. Na seção IV abordamos os conceitos básicos de eletrodinâmica e introduzimos o conteúdo do curso de LIEM. Na seção V, apresentamos algumas discussões e conclusões sobre o projeto realizado.

II. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METODOLOGIA

Decidimos pesquisar a viabilidade de oferecer a esse estudante o curso de LIEM de modo remoto, através de um projeto piloto envolvendo uma pequena parte inicial do curso, onde definimos que o projeto teria sua viabilidade avaliada até a atividade prática da Lei de Ohm. Caso o resultado fosse positivo, o curso poderia ter continuidade, abrangendo todas demais as atividades previstas para este curso. Sentimo-nos encorajados por estudos que indicam que o ensino a distância pode ser uma alternativa adequada para o estudante com deficiência visual, inclusive contribuindo para a sua integração no meio educacional e social [14, 15, 16].

Para que pudéssemos organizar o curso, iniciamos uma investigação a fim de conhecer melhor os desafios que estavam por vir, entrevistando os professores de Física que lecionaram estas três disciplinas para este estudante cego. Entrevistamos² estes professores através de questões semiestruturadas inspiradas no trabalho de Manah *et al* [17] e previamente validadas por professores especialistas. Escolhemos a abordagem semiestruturada pois permite correções, ajustes e esclarecimentos, ao longo da entrevista, seguindo um questionário como guia, mas não engessado somente a ele, promovendo uma interação mais dinâmica, rica e esclarecedora [18]. Estas entrevistas foram feitas online, através de um aplicativo de videoconferência, gravadas, transcritas e analisadas para uma publicação

¹ Como podemos observar nos relatos deste estudante durante uma entrevista sobre a qual citaremos mais adiante e que será melhor detalhado em um artigo futuro.

² Apresentaremos somente alguns dos resultados das entrevistas com os professores pois as entrevistas completas serão materiais para uma publicação futura.

especial no futuro³. Algumas das questões da entrevista tinham um objetivo particular de conhecer como foi pensado e executado todo processo de ensino-aprendizagem para este aluno. Perguntamos também aos professores se seria viável o ensino remoto dos temas de eletrodinâmica (que compõem a disciplina de LIEM) para este aluno. Apenas um dos professores nos incentivou, dizendo que acreditava ser viável essa possibilidade. Deve-se destacar também que, segundo relato destes professores, nos três cursos ofertados o ensino foi individualizado, ou seja, este estudante foi atendido individualmente através de uma carga horária ampliada.

Percebemos que esta adaptação é corroborada por Toenders *et al* [19] que avalia como essenciais a ampliação do tempo de trabalho individualizado junto ao estudante com deficiência visual, bem como adaptações no ambiente de estudo e na comunicação entre o professor e o estudante, o desenvolvimento de materiais que se adaptem às suas necessidades, necessidade de se repensar o processo avaliativo, além de tempo adicional extraclasse, preferencialmente remunerado, para que o professor prepare todas essas etapas do processo [19].

As informações adquiridas através das entrevistas com os professores foram fundamentais para estruturar os materiais e o método de ensino que seriam postos em prática, no formato remoto, para este estudante cego. Muitas ideias trazidas por esses professores foram por nós replicadas, como o quadro magnético usado como um recurso grafo-tátil para construção de gráficos a partir dos dados coletados e a construção da curva a ser analisada.

Em um segundo momento, entrevistamos o estudante para conhecer melhor sua deficiência, sua trajetória escolar, os desafios que teve desde o início dos seus estudos, o que o motivou a cursar Engenharia da Computação, quais suas necessidades específicas e como foi a experiência de cursar as três disciplinas iniciais de Física na universidade. Essa entrevista, também semiestruturada [18], forneceu pistas sobre a qualidade da sua instrução no Ensino Fundamental e no Ensino Médio referente, principalmente, às disciplinas de matemática e Física, além de nos permitir analisar os três cursos de Física que havia concluído na universidade, sobre o ponto de vista, não mais dos professores como foi visto inicialmente, mas do próprio aluno. Como resultado desta entrevista percebemos um histórico de grandes dificuldades, principalmente na matemática, corroborando com a afirmação unânime dos três professores entrevistados anteriormente, de que a formação matemática deste estudante estava muito limitada para um estudante de Ensino Superior e, apesar de não ter grandes problemas para a compreensão dos conceitos físicos, isso acaba prejudicando seu pleno desenvolvimento nos cursos de Física. Ou seja, ele era capaz de dominar mais facilmente os conceitos físicos, no entanto, a matemática se constituía em um grande empecilho para o pleno desenvolvimento e aplicação da Física em problemas que envolvesse cálculos, por exemplo. O estudante também avaliou como muito positivo os materiais e técnicas desenvolvidas por esses professores que

permitiram sua participação em vários aspectos dos procedimentos experimentais, desde a tomada de medidas até a produção do relatório da atividade. Nesta mesma entrevista perguntamos ao estudante se gostaria de participar deste projeto piloto de ensino remoto de LIEM e, de imediato, recebemos uma resposta afirmativa.

O estudante em questão nos relatou também que é considerado cego pela legislação brasileira, apesar de conseguir perceber claridade e o que denominou “vultos”, que seriam imagens completamente embaçadas e indistinguíveis. O estudante não possui nenhuma doença que comprometa sua capacidade intelectual, tendo aprendido muito bem e ainda jovem a escrita e leitura Braille e também faz uso de tecnologias assistivas como aplicativos leitores de tela, como o DOSVOX⁴, usado em seu computador, e outros aplicativos disponíveis para celulares. Além disso está muito familiarizado com o uso de programas e aplicativos de correio eletrônico e videoconferência, que foram o alicerce comunicacional da nossa proposta didática, além de aplicativos de mensagens para o celular.

Inicialmente fizemos contato com a professora que ministraria o curso de LIEM presencialmente para este aluno e a convidamos para participar deste projeto. Com seu aceite, montamos um grupo de pesquisa para desenvolver, aplicar e avaliar aula a aula, todo o processo de ensino que seria aplicado ao estudante cego, tal qual foi feito também em Holt *et al.* [16].

A metodologia empregada neste projeto é de caráter qualitativo, onde desenvolvemos o plano de aula e materiais adaptados para o ensino de eletrodinâmica a este estudante cego e analisamos qualitativamente a viabilidade e reprodutividade destes para o ensino, tentando responder às questões de pesquisa.

A fim de viabilizar o processo, utilizamos a metodologia denominada *Design Experiments* [20]. A escolha desta metodologia nos permitiu elaborar, testar e analisar teorias que serão produzidas com base em uma pesquisa metódica de bibliografias que tratam, tanto do ensino de Física experimental, quanto das diferentes abordagens orientadas para o ensino de Física a estudantes com deficiência visual. Funcionando como um tipo de engenharia, a metodologia *Design Experiments* segue os passos da preparação do projeto de ensino, construção dos materiais necessários à sua implementação, trabalho de campo, adaptações necessárias, reimplementação, funcionando assim de forma cíclica a fim de produzir uma miniteoria de aprendizagem bem específica para o conteúdo que se pretende apresentar ao estudante.

A metodologia *Design Experiments* funciona como um tipo de ecologia, ecologia de aprendizagem, já que, em um sentido bem amplo, deriva do fato de que é desenvolvida dentro do ambiente de aprendizagem, que, no nosso caso, não é um ambiente físico como o laboratório de Física, mas

³Citaremos somente alguns dos resultados que objetivam descrever as escolhas e caminhos seguidos no nosso projeto piloto.

sim através dos encontros síncronos, a partir da relação entre os atores do processo, ou seja, o estudante, o professor e o pesquisador, através dos meios que serão desenvolvidos para que o processo seja realizado. Para o caso específico do ensino de um tópico ainda mais específico da Física, entendemos que estamos lidando com um micro-ecossistema de aprendizagem. Este entendimento leva em consideração a complexidade do desenvolvimento, aplicação e adaptação das atividades direcionadas especificamente para um conteúdo da Física, no caso o LIEM, oferecido ao estudante cego [20].

Os elementos dos que fizemos uso dentro desse micro-ecossistema de aprendizagem foram: as tarefas desenvolvidas para o aluno relativas ao conteúdo de LIEM trabalhado em sua casa, de forma remota, através dos materiais fornecidos; as discussões em que encorajamos o estudante a envolver-se de modo que permitiu sua participação ativa no processo de construção do saber e da lapidação para o desenvolvimento da cultura do uso da linguagem científica; as normas de participação que envolveram os procedimentos e roteiros experimentais com a orientação e interação com o professor e com o pesquisador; as ferramentas que foram desenvolvidas e/ou adaptadas para fornecer ao estudante com deficiência visual a oportunidade de participar de todos os processos laboratoriais (desde a montagem e manipulação dos experimentos, quanto a coleta de dados e produção do relatório); e os meios práticos que foram elaborados para orquestrar a relação entre todos os elementos envolvidos como a subdivisão em minitarefa e a possibilidade de interrupção na atividade para exploração de um conhecimento prévio que fez-se necessário e que, ao longo da atividade, percebeu-se estar deficitário na formação previa deste aluno.

Das configurações disponíveis para implementação da metodologia *Disign Experiments* [20], optaremos por implementá-la de forma individual já que, segundo o autor, essa forma de implementação permite a aplicação das atividades através da relação direta entre professor pesquisador e aluno. Pelo critério da metodologia, são:

“Experiências em que uma equipe de pesquisa conduz uma série de sessões de ensino com um pequeno número de alunos. O objetivo é criar uma versão em pequena escala de uma ecologia de aprendizado para que possa ser estudado em profundidade e detalhes”. (tradução livre, Cobb & Steffe, 1983, apud [20]).

Um dos recursos transversais da prática desta metodologia, explícita que a mesma privilegia a interação dos seus participantes através de uma prática social, tal qual a teoria de Vigotski [21] assumindo ser vital para o processo de ensino e aprendizagem, visando e elaboração de uma classe de teorias que se desenvolverão através da interpretação do processo de aprendizagem. Segundo Gaspar [22], as implicações práticas das teorias de Vigotski também são válidas para o ensino experimental, não havendo nenhuma diferença básica no processo de ensino e aprendizagem, segundo as teorias de Vigotski, em razão da área do conhecimento a ser estudada ou em relação a forma

de abordagem com os estudantes. Ele é enfático em afirmar que:

“*Pode-se adotar, como princípio básico de uma pedagogia de inspiração vigotskiana, que todo conteúdo de ciências humanas, exatas ou biológicas pode ser ensinado e aprendido por meio das mais variadas estratégias pedagógicas, desde que elas possibilitem o desencadeamento de interações sociais das quais participe o professor ou, eventualmente, outro parceiro mais capaz que domine cognitivamente o conteúdo que é o objeto de ensino dessa interação*” [22].

A interação à que se refere Vigotski, entre o estudante e um parceiro mais capaz, necessariamente precisou ocorrer de forma remota por conta da pandemia. No entanto, procuramos manter um vínculo um pouco mais próximo com o estudante fornecendo-lhe nossos contatos através de correio eletrônico e aplicativos de mensagens, para que essa interação pudesse se estender além dos nossos encontros semanais, a fim de incentivá-lo a questionar, desvendar suas curiosidades a respeito do assunto estudado, tentando também incorporar essas questões ao longo das aulas semanais. Buscando, dessa forma, construir uma aprendizagem que possa ser significativa para o estudante, ou seja, de modo que o novo conhecimento se relacione com a estrutura cognitiva do estudante através dos seus conhecimentos prévios e associadas, não a um novo vocabulário de palavras científicas, mas às ideias que são expressas por essas palavras [23].

As práticas relacionadas ao curso de LIEM envolvem a manipulação de componentes eletrônicos como resistores, capacitores e indutores que devem ser aplicados em circuitos através de um protoboard, uso de instrumentos de medida como multímetros e osciloscópios, além da produção de gráficos com os resultados das leituras obtidas. Decidimos que para este projeto piloto o estudante deveria aprender a manipular o multímetro nas escalas de leituras de tensão, corrente e resistência, além do teste de condutividade, para que o estudante pudesse identificar materiais condutores e materiais isolantes. Para completar essa etapa do projeto piloto, o estudante deveria fazer medidas de corrente e tensão em um circuito com um resistor, a fim de produzir um gráfico com os dados coletados, ajustando a melhor reta que passa pelos pontos plotados neste gráfico e, por último, calcular a inclinação da reta obtida a fim de compreender que a relação de proporção direta entre a tensão e a corrente é, para resistores ôhmicos, o que chamamos de resistividade do resistor, tal qual é analisado na Lei de Ohm.

Para que o curso fosse o mais próximo possível do oferecido presencialmente, foram elaborados diversos materiais e outros adaptados e entregues, após uma higienização com álcool 70°, na casa do estudante. Conseguimos reunir todos os materiais, que foram confeccionados ao longo do curso, e entregá-los na casa do estudante através de apenas duas remessas.

As dificuldades inerentes ao ensino experimental para estudantes com deficiência visual decorrem, em primeiro lugar, da falta de experimentos adaptados as suas necessidades. Inclusive pelo fato de que estas necessidades

podem variar até mesmo dentro de um grupo de estudantes com deficiência visual, já que cada um destes estudantes desenvolveu em maior ou menor grau, ao longo de sua vida, diante da impossibilidade de enxergar e do grau de interação que teve com pessoas videntes, outros sentidos como o tato e a audição, como uma forma de melhor se relacionar com o mundo. Segundo Vigotski [21], para a criança cega, ao contrário do que se pensava, sua vida não gira em torno da cegueira, mas sim em direção a superação pelas supercompensações que se tornam necessárias para sua inserção no meio social. Apesar de estudos comprovarem que os cegos possuem um elevado desenvolvimento de sua memória verbal, mecânica e racional, sua deficiência produz uma grande dificuldade relativa aos movimentos, o que não ocorre, por exemplo, em relação a uma criança muda [21].

Portanto, seria necessário conhecer melhor o desenvolvimento das supercompensações deste estudante já que, nas atividades experimentais de Física, é necessária uma grande habilidade manual para a execução das tarefas, além de uma excelente memória espacial.

As dificuldades conceituais inerentes ao estudo da eletrodinâmica, conceitos esses fundamentais para o curso de LIEM, já foram produto de inúmeros estudos [24, 25, 26, 27, 28]. No entanto, ainda hoje, as dificuldades na compreensão dos conceitos de corrente, tensão e resistência, embora muito usados no dia a dia, continuam desafiando os professores e pesquisadores da área de educação, inclusive pelo fato de se tratar de uma área importante em todos os níveis de escolaridade [24].

Outra ideia difícil de reconduzir é a de que a corrente elétrica ou eletricidade é consumida em um circuito. Mesmo após a instrução, os estudantes acreditam que o fato da bateria esgotar é a prova disso. Essa corrente, no entendimento de muitos estudantes, é armazenada pela bateria, repousa nos fios e é gasta por uma lâmpada quando conectadas, sem que se apresente nenhuma noção de conservação de energia [24]. Arons [25] concorda com as afirmações sobre as dificuldades no entendimento do conceito de corrente elétrica quando relata que:

“Os efeitos observáveis não são facilmente vinculados a abstrações como ‘carga elétrica’, ‘corrente’ e ‘energia’. Uma vez que os alunos estão cientes de que as baterias ‘se esgotam’ e que se ‘usa’ a eletricidade doméstica, eles acreditam que ‘algo se esgota’ nos circuitos elétricos e, para muitos deles, a coisa mais razoável para se ‘esgotar’ é a própria ‘eletricidade’. Além disso, o conceito de ‘diferença de potencial’ é bastante difícil em sua aplicação a campos eletrostáticos; sua relevância e aplicabilidade em circuitos elétricos é ainda mais obscura para a maioria dos alunos” [Tradução livre, 25].

A ideia do consumo da corrente elétrica é verificada quando o estudante tem dificuldades de compreender, mesmo usando um amperímetro, que a corrente medida antes do resistor tem o mesmo valor nominal quando medida depois. A dificuldade no entendimento de que a diferença de potencial está associada a um gerador ou receptor elétrico fica evidente quando se pede para um estudante determinar a diferença de potencial entre vários pontos de um circuito,

muitos estudantes acreditam haver diferença de potencial entre dois extremos de um fio condutor, mesmo que não haja nenhum componente conectado entre essas duas extremidades. Além disso, as dificuldades se multiplicam em associação de resistores em série ou paralelo, com a possibilidade, através dessas associações, de podermos construir divisores de tensão e corrente.

Felizmente, estes mesmos autores nos apresentam caminhos que podem nos guiar para uma abordagem que leve em conta as dificuldades dos estudantes. É disso exatamente que trata Duit [24] quando nos diz que é preciso levantar previamente as ideias dos estudantes acerca do fenômeno a ser estudado e que é preferível tentar partir de suas próprias preconcepções para se chegar ao conceito científico, do que tentar expurgar tais preconcepções, permitindo que eles próprios tomem consciência de que suas ideias pueris entram em confronto com os conceitos científicos, gerando assim um conflito cognitivo. Portanto, em vez de dizer que sua noção está errada, o professor deve conduzir o estudante a uma mudança conceitual, por exemplo, no caso do consumo de corrente elétrica, em vez de tratar a ideia como totalmente errada, é possível revelar ao estudante que sua noção de consumo está correta e o que é consumido é a energia da bateria pela lâmpada acoplada a ela, destacando que a energia total é conservada. Logo, a pedagogia deve ser centrada em ouvir as ideias do estudante e partir dessas ideias a fim de atingir o letramento científico.

Uma outra contribuição é trazida pelos textos de McDermott [26] através de guias para a aplicação de atividades *hands-on* utilizando circuitos formados com baterias e lâmpadas. De início os estudantes manipulam várias combinações de baterias e lâmpadas e suas observações os levam à elaboração de várias suposições que contribuem para a construção de um modelo mental sobre a corrente elétrica. Essas manipulações os ajudam a determinar as condições para que as lâmpadas se acendam e, quando acesas possam produzir um maior ou menor brilho. Percebemos que a maior parte das atividades propostas por estes autores fazem uso de circuitos contendo lâmpadas, e que o brilho destas é percebido como o “gasto de energia”. No entanto, ao trabalharmos com um estudante com deficiência visual, há uma necessidade de se utilizar outros estímulos, que não a visão [27, 28].

Outro aspecto importante a ser analisado e que precisamos levar em conta é o grau de desenvolvimento cognitivo que o estudante com deficiência apresenta. Segundo Montoya [29], Piaget analisa a construção imagética ou imagem mental, como um aspecto fundamental na construção do conhecimento por uma criança, logo, a percepção visual torna-se uma fonte de conhecimento no desenvolvimento da inteligência sensorio-motora desta criança. No caso de crianças cegas essas imagens mentais se desenvolvem de uma outra maneira já que, ainda de acordo com as teorias de Piaget, o nível de desenvolvimento cognitivo é diferente quando a experiência é obtida, não só através do raciocínio, mas pela ação da manipulação e observação direta dos objetos. A dificuldade nessas manipulações, ao longo do desenvolvimento de uma criança

cega também prejudicará seu desenvolvimento lógico-matemático [29].

Para nos guiar na confecção de materiais adaptados para este estudante encontramos alguns trabalhos que permitiram que compreendêssemos mais sobre as técnicas utilizadas para uma abordagem mais apropriada ao trabalho com um estudante cego [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36] e que permitiram também decidir pela abordagem desses conceitos, alternando entre o uso de maquetes tridimensionais táteis, representações grafo-táteis e a adaptação de instrumentos de medida e componentes reais para montagem e aplicação em um circuito elétrico com fontes e resistores.

III. EXPLORANDO O MODELO ATÔMICO E CONCEITO DE CARGA ELÉTRICA

Nesta seção e na próxima, abordaremos a prática e alguns achados que puderam ser verificados ao longo das aulas, fornecendo alguns detalhes sobre os materiais utilizados nas atividades práticas durante as aulas.

Nossos encontros eram semanais e duravam, em média, duas horas. O primeiro autor deste artigo conduziu as aulas realizadas por videoconferência enquanto os demais integrantes do grupo assistiam, mas com os microfones desligados. Todas as aulas foram gravadas com a permissão do estudante e de todos os integrantes da equipe de pesquisa. Fazendo uso da metodologia *Design Experiments* [20], descrita na seção anterior, após a aula nos reuníamos para discutir e avaliar toda a dinâmica da aula, reações do estudante e os procedimentos utilizados a fim de adotar eventuais correções ou implementações que se fizessem necessárias na aula seguinte, inclusive o possível retorno a conceitos que não haviam ficado claros para que se fosse tomado outro caminho pedagógico.

As aulas foram preparadas a partir de roteiros cuidadosamente elaborados e discutidos com o grupo para que, durante a aula, o estudante fosse conduzido passo a passo à construção dos conceitos científicos. O professor que efetivamente ministrou a aula, fazia a leitura do roteiro e ao mesmo tempo acompanhava as imagens na tela do seu notebook, interagindo através do áudio a fim de orientar e conduzir o estudante em suas manipulações. Algumas situações tiveram que ser contornadas como a perda de conexão do professor, queda na energia elétrica e situações do cotidiano que acabavam invadindo o momento de estudos como alguns que ocorreram na casa do estudante como sons de assovios, risadas, buzinas, músicas, conversas em tom elevado ao telefone e vários tipos de ruídos que foram contornados da melhor forma, sem que o andamento da aula fosse prejudicado.

Decidimos que, alguns dias após a aula e antes da aula seguinte, enviaríamos esse roteiro para o estudante, para que ele o estudasse para a aula seguinte e nos tornamos disponíveis para quaisquer dúvidas que poderiam ser respondidas através do correio eletrônico e aplicativo de mensagens pelo celular, incluindo mensagens de áudio. Sempre junto com o envio dos materiais eram enviadas

também mensagens afetuosas e de incentivo, elogiando, com todo mérito, a participação do estudante na aula anterior, mas também cobrando seu afinho na leitura do material para que a evolução na compreensão dos conceitos não fosse prejudicada. Essa abertura que foi dada ao estudante buscava encorajá-lo a continuar e a se sentir bem amparado durante o curso, inclusive emocionalmente pois as notícias que chegavam sobre o momento difícil vivido durante a pandemia da COVID-19 exigiam um alto grau de controle emocional de todos.

Aguilar *et al.* [12] fornecem métodos que os professores podem aplicar em suas aulas para melhorá-las e conseguir o sucesso desses grupos de estudantes sub-representados, aos quais entendemos que os estudantes cegos certamente pertençam. As sugestões apresentadas por esses autores e por nós adaptadas e implementadas, segundo os próprios autores, podem ser usadas também em cursos de Engenharia e Matemática. Portanto, buscamos implementar a intervenção de pertencimento social oferecendo ao aluno uma maneira mais esperançosa e otimista de compreender quaisquer experiências negativas [12].

Antes de avançar com os conceitos, no início das aulas seguintes, preparamos questionários para avaliar a aprendizagem do estudante. Logo, nossas avaliações foram feitas ao longo das aulas, de forma contínua, para que pudéssemos medir o progresso do estudante e reforçar os conceitos, muitas vezes através de uma nova abordagem, antes de avançarmos para novos tópicos.

O primeiro kit de materiais que enviamos ao estudante continha maquetes com representações tátil-visuais feitas de isopor e palito de sorvete de madeira. A primeira maquete representa o modelo do átomo de hidrogênio (Figura 1a), as outras duas maquetes representam átomos com excesso de elétrons, e mais duas representando átomos com falta de elétrons, ou seja, “buracos” (Figuras 1b e 1c). Elaboramos também uma estrutura que representa um arranjo de átomos (Figuras 2a e 2b), contendo duas bolinhas que representavam os elétrons “livres” que tinham uma ligação bem fraca com o núcleo e que poderiam se desprender da atração deste átomo e se juntar ao átomo vizinho. Para representar essa ligação fraca introduzimos pequenos ímãs no interior das bolinhas de isopor de modo que ao aproximá-las umas das outras o estudante poderia perceber que se prendiam através de uma força bem pequena. Tivemos o cuidado de explicar o motivo das bolinhas se atraírem, já que colocamos os ímãs em seu interior, explicando que, neste caso, tratava-se de uma atração magnética e não elétrica com a que ocorre realmente nos átomos. Dessa forma, por analogia, as bolinhas menores representam os elétrons livres e as maiores os átomos. Essas bolinhas menores foram presas a fios de nylon a fim de não caírem no chão durante a atividade do estudante.

No início da primeira aula, abordamos a evolução dos modelos atômicos, chegando até a descoberta do nêutron por James Chadwick em 1932 que completava as três partículas constantes do modelo atômico de Rutherford, necessário para que pudéssemos trabalhar o conceito de carga elétrica. Esta abordagem acabou ficando um pouco longa e percebemos que o interesse do estudante havia diminuído, o

que nos fez, após a reunião do grupo, mudar as estratégias e procurar uma abordagem mais dinâmica e interativa. Na sequência iniciamos as atividades *hands-on* [37], ou mão na massa, e percebemos que o interesse do estudante aumentou, mostrando-nos o caminho a seguir para reter sua atenção o maior tempo possível. De fato, ao longo das aulas, sempre criamos espaço e incentivamos o estudante a manifestar sua opinião, reforçando a importância de uma construção conjunta para os rumos das atividades desse curso.

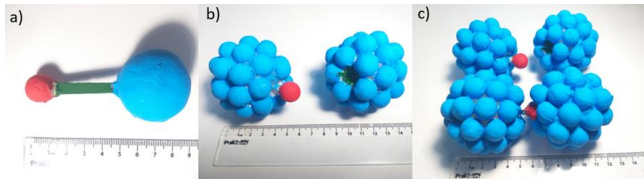


FIGURA 1. a) Representação tátil-visual do átomo de hidrogênio; b) do lado esquerdo uma representação tátil-visual de uma carga negativa, com uma bolinha vermelha mais afastada do centro da configuração e do lado direito uma carga positiva, representada pelo buraco deixado pela falta de uma bolinha. c) aqui pode-se observar as quatro peças, em cima separadas e embaixo uma encaixada na outra.

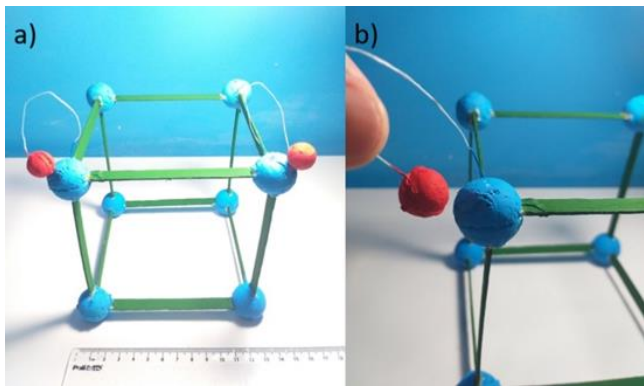


FIGURA 2. a) Representação tátil-visual de um arranjo de átomos; b) detalhe da atração exercida pelas bolinhas representando a fraca atração de um elétron pelo núcleo em materiais condutores de eletricidade.

Para que o estudante pudesse compreender o quão pequenas são as dimensões atômicas, pedimos que dividisse uma folha de papel tamanho ofício no meio, desprezando uma das metades. Em seguida, ele deveria repetir o processo até não conseguir mais. Explicamos ao estudante que para atingir níveis atômicos seria necessário dividir o papel ao meio, cerca de 38 vezes. Utilizamos também relações com distâncias próximas a sua residência e que já está acostumado a percorrer, para que entendesse as relações entre as dimensões do átomo. Essas relações foram explicadas enquanto o estudante manipulava a maquete tátil-visual analógica [38] do átomo de hidrogênio como pode ser visto na Figura 3. Antes de todas as abordagens *hands-on*, sempre deixávamos que o estudante manipulasse por algum

tempo as maquetes e pedíamos que nos dissesse o que achava que era aquilo, de que material era feito, etc. Caso não soubesse, explicávamos esses detalhes para ele, inclusive a cor com que estava pintado pois “...as cores também devem fazer parte do mundo das pessoas cegas, mesmo que seja por informação de outra pessoa...” [39].

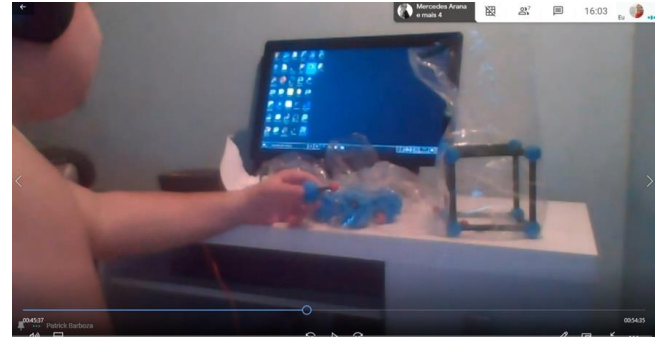


FIGURA 3. Nesta imagem é possível ver o estudante manipulando, durante a aula, o nosso modelo tátil-visual analógico de um átomo de hidrogênio, composto por duas esferas de isopor de tamanhos diferentes.

Depois de explicar o modelo atômico seguimos para o conceito de carga através da representação de cargas positivas, ou seja, de um átomo com a ausência de um elétron representado pela ausência de uma das bolinhas. Essa representação é perceptível pelo estudante como um buraco, enquanto que as cargas negativas, ou seja, átomos com excesso de elétron, indicadas pela presença de uma bolinha mais afastada do núcleo do átomo, como visto em detalhes na Figura 1. As duas cargas se encaixavam formando duas cargas neutras, dando a noção ao estudante que cargas de diferentes sinais se atraem. Esta atividade pode ser vista na Figura 4.



FIGURA 4. O estudante manipula, durante a aula, as representações tátil-visuais analógicas das cargas elétricas negativas e positivas.

A terceira representação tátil-visual analógica que apresentamos ao estudante tinha um formato de um cubo com esferas de isopor nos quatro vértices, ligadas por palitos de madeira. Em dois destes vértices ele podia manipular esferas ainda menores que possuem uma fraca aderência às esferas maiores podendo ser removidas e levadas para que se acoplassem em outra esfera. Essa fraca aderência

representava a fraca ligação do elétron ao núcleo em materiais metálicos, como o cobre, que permitem que este elétron possa circular pela estrutura ou se ligar, temporariamente, a um átomo vizinho. O momento dessa manipulação pode ser visto na Figura 5.

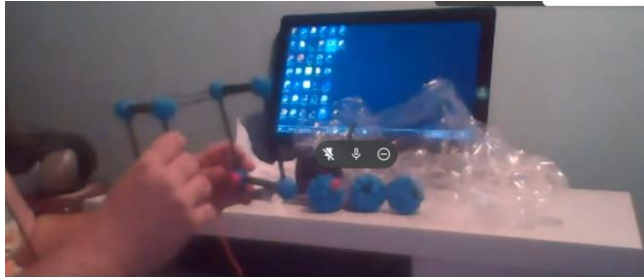


FIGURA 5. Nessa imagem o estudante, durante a aula, manipula a representação tátil-visual analógica de um arranjo de átomos.

Buscando sempre uma abordagem significativa [23] dos conteúdos trabalhados, aproveitamos essa aula para falar sobre o funcionamento do seu microcomputador já que é um equipamento que desperta muito seu interesse e curiosidade. Abordamos seu funcionamento básico falando sobre o botão que permite à fonte estabelecer uma diferença de potencial (ddp) no circuito que promove a circulação da corrente elétrica. Falamos muito brevemente sobre os sentidos real e convencional da corrente elétrica e a noção de buraco como uma carga positiva. O roteiro dessa primeira aula foi enviado por correio eletrônico para o estudante e foi solicitado que o estudasse, caso sentisse necessidade, pegasse os materiais para manipular durante a leitura do roteiro, e se houvesse alguma dúvida, poderia entrar em contato conosco pelo aplicativo de mensagens do celular ou por correio eletrônico. Mantivemos essa rotina de entrega de roteiros ao longo de todas as aulas.

IV. ABORDANDO OS CONCEITOS BÁSICOS DE ELETRODINÂMICA E INTRODUZINDO O CURSO DE LABORATÓRIO INTRODUTÓRIO DE ELETRICIDADE E MAGNETISMO

Para que pudéssemos abordar os conceitos de resistência, corrente e ddp, construímos uma maquete tátil-visual analógica constituída por uma representação tridimensional feita de madeira coberta por uma camada de borracha EVA (Etil, Vinil e Acetato ou Acetato de Vinila) de 1 cm de espessura, um material que pode ser encontrado em lojas de tecidos e plásticos. Esta maquete dispunha de três rampas com inclinações diferentes, ligadas, em baixo, por um caminho plano (Figura 6). A rampa de maior inclinação, mais à direita na Figura 6a representa a fonte e sua inclinação é associada a uma diferença de potencial. Em vez de associarmos a altura da rampa com a energia potencial gravitacional, preferimos uma outra abordagem, já que não sabíamos até que ponto o estudante dominava os conceitos

relativos à energia. Duas esferas de metal representam as cargas se deslocando pelo circuito. Todos os materiais desenvolvidos foram previamente testados pelo primeiro autor desse artigo e, em seguida, pelo seu filho de 15 anos que, sem ter visto o equipamento, deveria manipulá-lo no escuro a fim de podermos verificar sua viabilidade. Nessa etapa também avaliamos os materiais, verificando se teria pontas cortantes e quaisquer problemas que pudesse colocar em risco a integridade do estudante.

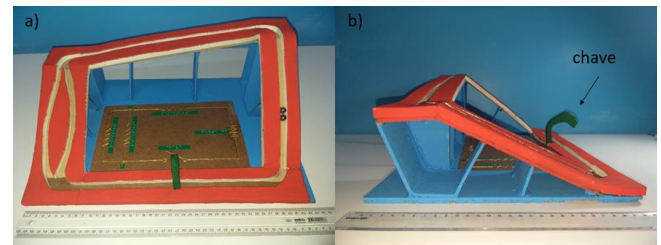


FIGURA 6. Maquete tátil-visual analógica para o estudo de um circuito elétrico. a) visão frontal. b) visão lateral.

No início da aula, em um rito que foi mantido ao longo de todas as aulas, arguimos o estudante acerca dos conteúdos da aula anterior para que pudéssemos fazer as necessárias correções de curso. Essas correções de curso, na maioria das vezes, foram feitas através de uma nova abordagem, para só então podermos prosseguir para um novo conteúdo. Logo após o questionário, no qual o estudante obteve um índice de acertos de 65 %, iniciamos as atividades *hands-on*. Primeiro pedimos para que o estudante colocasse as bolinhas de metal na canaleta plana, mais abaixo, e tentasse mover da esquerda para a direita as bolinhas. O estudante verificou que as bolinhas se moviam com facilidade ao longo da metade do caminho pois no meio havia uma barreira que impedia as bolinhas de cruzarem toda a extensão deste caminho plano.

A barreira, que representa a chave do circuito, em destaque na Figura 6b, é formada por um pedaço de EVA que se encaixa perfeitamente no caminho das bolinhas. Pedimos então que o estudante abrisse a chave, levantando a placa de EVA e agora as bolinhas podiam se movimentar com facilidade por toda a extensão desse caminho. Essa facilidade de movimento das bolinhas de metal foi associada a passagem das cargas por um fio condutor. Então, explicamos que a chave interrompe a passagem dessas cargas elétricas representadas pelas bolinhas de metal e que o número de cargas que atravessam uma seção deste caminho em um dado intervalo de tempo é denominado de intensidade de corrente elétrica. Sempre a manipulação era guiada e acompanhada das abordagens conceituais.

Procuramos também, como no caso da Lei de Coulomb, fazer alguns exemplos em que o estudante deveria realizar as operações matemáticas mentalmente para nos fornecer o resultado. O fato das bolinhas poderem se mover facilmente por esse caminho, foi atribuído ao movimento de cargas nos fios condutores.

Dando continuidade ao circuito, no sentido anti-horário, pedimos que empurrasse as bolinhas para direita e tentasse

fazer com que subissem a rampa. Logo após a curva, iniciando a subida, o estudante percebeu que o caminho era estreito e que as bolinhas não passavam facilmente, como no caminho anterior, e que era necessário forçá-las a subir. Associamos essa dificuldade com o conceito de resistência, nesse caso, a resistência interna da fonte. A base da subida seria a representação do menor potencial e o topo maior potencial. No topo da subida há uma base plana. Plano seria a representação de um mesmo potencial, não havendo, neste ponto, dificuldade para mover as bolinhas, o que, por analogia, seria mais uma representação de fio condutor, mas agora num maior potencial que o de baixo. Na sequência aparece mais um caminho estreito, só que agora em uma rampa inclinada descendente o que, por analogias, o caminho estreito representa uma resistência e a inclinação descendente a queda de potencial sobre esse resistor. Na outra extremidade desse resistor há mais uma plataforma plana que seria mais um fio condutor unindo os componentes e, logo após, o caminho se divide em dois. Ambos os caminhos também são estreitos indicando dois resistores associados em paralelo. O estudante percebeu que as bolinhas se dividem e se unem no final da trajetória o que, por analogia, seria a divisão de corrente que ocorre em um nó. Na Figura 7 podemos observar o estudante manipulando a maquete.

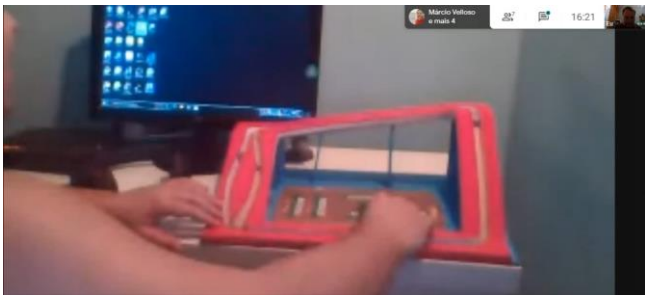


FIGURA 7. Nesta imagem podemos observar o estudante, durante a aula, manipulando a maquete tridimensional como uma ferramenta tátil-visual analógica para o ensino de eletrodinâmica.

No terceiro dia de aula o estudante acertou as 16 questões que lhe foram aplicadas. Entre as questões propostas, incluímos algumas em que o estudante precisou fazer algumas operações matemáticas simples para nos trazer o resultado, como aplicações da Lei de Coulomb. Nesta aula fizemos uso da mesma maquete da aula anterior, mas, desta vez, utilizando a mesma representação do mesmo circuito (inclusive na mesma disposição dos componentes), só que agora através de uma representação tátil-visual analógica do esquema eletrônico do circuito. Utilizamos uma cola de relevo para desenhar o circuito de forma que fosse perceptível pelo tato o diagrama do circuito, identificando a representação de todos os componentes deste circuito. Dessa forma pudemos fazer uma transposição didática da maquete anterior, agora utilizando as mesmas formas esquemáticas que são utilizadas pelos videntes, nos diagramas de circuitos.

Na Figura 8 podemos observar os detalhes do recurso e o estudante manipulando o circuito. Os componentes estavam identificados através de uma etiqueta em Braille e outra em tinta. Após algum tempo de manipulação prévia, explicamos os símbolos de cada componente do circuito e reforçamos suas funções, fazendo uma correlação da maquete exterior para o recurso interior e, na sequência, nos mantivemos estudando apenas o interior da maquete, reforçando os conceitos de corrente, ddp e resistência. Identificamos também os dois nós (ponto A e ponto B) do circuito para que o estudante pudesse compreender como representa-se o ponto onde há uma divisão de corrente. Ao final da aula, falamos sobre os efeitos da corrente elétrica no corpo humano e solicitamos como tarefa para a próxima aula, que o estudante fizesse uma pesquisa sobre o que é e como ocorrem os relâmpagos. Nossa intenção, nessa pesquisa, seria introduzir os conceitos de condutores e isolantes e abrir um pouco de espaço para alguns conceitos de eletrostática, que percebemos ser de interesse do estudante.

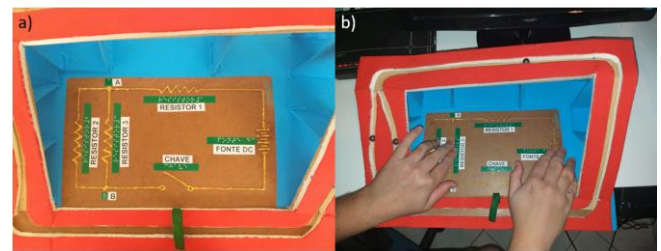


FIGURA 8. Em a) podemos ver o recurso tátil-visual analógico em detalhes. Em b) o estudante manipula o recurso no interior da maquete, que representa todos os componentes do circuito. A segunda foto foi tirada *in loco* pelo primeiro autor deste artigo, quando foi na residência do aluno entregar o segundo kit de materiais.

Antes da quarta aula, entregamos ao estudante dois multímetros com as pontes magnéticas adaptadas e com indicação em Braille, distinguindo a ponte positiva da negativa. O multímetro também dispõe de indicações em Braille no seletor (Figuras 9a e 9b), representando quatro funções que o estudante aprenderia a manipular: corrente contínua, tensão contínua, resistência e teste de condutividade. Além disso também enviamos: uma caixa contendo 65 objetos feitos de materiais diferentes (Figuras 9c e 9d), para o teste de condutividade; uma caixa contendo pilhas, baterias, além de resistores e fios adaptados a uma placa magnética e com indicações em Braille (Figuras 10c, 10d e 10e); uma placa *protoboard* desenvolvida por nós, feita de uma placa de madeira com parafusos ferromagnéticos aparentes e uma fonte ajustável através de associação em série de pilhas tipo D (Figuras 10a e 10b). Enviamos também um quadro de ímãs (do tipo usado para fotos) e, sobre o quadro, colocamos um papel milimetrado formato A3. Sobre o papel milimetrado posicionamos uma folha de acetato no qual riscamos, com a ajuda de um estilete, todas as linhas e colunas do papel milimetrado, formando quadrados de 1 cm por 1 cm. Indicamos com uma

linha de costura, colada sobre o acetato, os eixos das abscissas e das ordenadas, numerando-os com etiqueta Braille (Figuras 11a e 11b). Para fazer as marcações dos pontos experimentais medidos, entregamos ímãs de neodímio de 5 mm de diâmetro e algumas tiras e ímãs de geladeira para que fosse traçada a melhor reta de ajuste dos pontos. A construção de gráficos utilizando ímãs nos foi apresentada por um dos professores, durante a entrevista, que já havia trabalhado a disciplina de Física Experimental 1 com este estudante. No dia da entrega do segundo kit, pedi que o estudante manipulasse os materiais e dei algumas instruções sobre o que estava observando, para que, na próxima aula, quando precisasse utilizar um equipamento, ele soubesse de que estava falando.

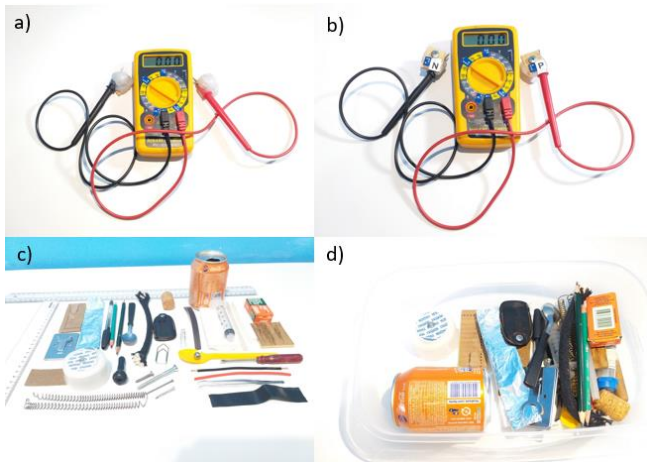


FIGURA 9. Em a) apresentamos o multímetro com as indicações em Braille e ponteiros adaptadas. Em b) vemos o multímetro e o lado oposto das ponteiros onde pode-se observar um parafuso e uma indicação de polaridade em tinta e alfabeto Braille. Em c) os objetos para o teste de continuidade que, em d), aparecem acondicionados na caixa para uma maior organização.

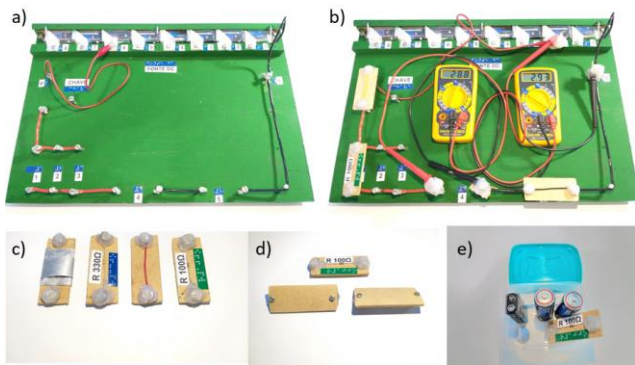


FIGURA 10. Em a) apresentamos o protoboard sem componentes. Em b) a protoboard pode ser observada com o circuito montado com um resistor e os dois multímetros fazendo leituras de corrente e tensão que também podem ser observadas no visor dos multímetros. Nas partes c) e d) alguns resistores e fios, o primeiro resistor da esquerda foi coberto com um dissipador e com pasta térmica pois, durante os testes, verificamos que em determinados valores de tensão esse componente esquentava muito e poderia provocar uma

queimadura no estudante. Em d), na parte inferior, o detalhe do lado oposto da placa com os parafusos. Em e) os componentes e pilhas acondicionados em uma caixa para maior organização.

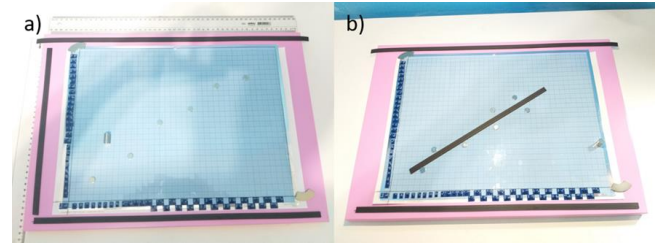


FIGURA 11. Em a) temos o quadro magnético com o acetato quadriculado e indicações em Braille e alguns ímãs de neodímio posicionados. Em b) uma barra de ímã de geladeira foi posicionada, passando pela melhor distribuição entre os pontos.

A aula 4 teve início com a apresentação do estudante sobre o tema “relâmpago”. Na sequência ampliamos um pouco mais sua compreensão sobre o tema com vistas, na aula seguinte, a abordar um pouco sobre os conceitos básicos de eletrostática. Conhecer um pouco mais sobre esse fenômeno da natureza também nos ajudou com o tema desta quarta aula, já que iríamos falar sobre condutores e isolantes e como esse conceito pode ser relativo à diferença de potencial entre os pontos dos materiais, como o ar que pode ser isolante para tensões residenciais, mas pode conduzir eletricidade, como o que ocorre com os relâmpagos.

Após uma rápida apresentação dos conceitos de condutores e isolantes, iniciamos as atividades *hands-on*. O estudante pegou o multímetro, colocando o seletor na posição de teste de continuidade. Pedimos que abrisse a caixa, retirasse um dos objetos e colocasse as pontas das ponteiros nas extremidades dos materiais. Ao ouvir um *beep* sonoro, saberia que se tratava de um material condutor. Inicialmente, acompanhando pelas imagens, dizíamos qual objeto o estudante estava tateando, mas, ao longo da atividade, passamos a pedir que dissesse do que se tratava o material e que nos fizesse uma previsão se o material era condutor ou isolante. Percebemos um grande entusiasmo e uma intuição Física muito acertada do estudante durante essa aula.

Na sequência o estudante fez medidas de tensão e resistência em algumas pilhas e resistores (Figuras 12 e 13), mostrando para a câmera o resultado obtido, para que pudéssemos fazer a leitura para ele. Tentamos utilizar um aplicativo de celular para que o próprio estudante pudesse fazer, sozinho, a leitura, mas não obtivemos sucesso e decidimos que, ainda assim, seria viável continuar fazendo as leituras por ele. Sem recursos de financiamento, o primeiro autor utilizou recursos próprios para construir e adaptar todos os materiais utilizados. Dessa forma, com recursos muito limitados, todos os materiais e equipamentos, como os multímetros, tiveram um custo muito acessível o que, inclusive, pode viabilizar mais facilmente sua reprodutibilidade.

Na aula 5 entramos na Lei de Ohm, sendo a última aula com conteúdo deste projeto piloto. Ao planejar essa aula, decidimos que deveríamos produzir uma aula intermediária para que o estudante pudesse relembrar como calcular a inclinação de uma reta no quadro magnético, revisando alguns conceitos de trigonometria. Logo, essa aula intermediária foi classificada como aula 4.5 (Figura 14).

No início da aula 5, o estudante acertou 66 % das questões. Na sequência revisamos as características e propriedades da carga elétrica, diferença de potencial e explicamos o que é uma associação em série de pilhas. Explicamos com mais detalhes o funcionamento do multímetro, no modo voltímetro, como ele deve ser conectado ao circuito, o conceito de voltímetro ideal e orientamos que fizesse algumas leituras. Com o *protoboard* sobre a mesa, pedimos que medisse a tensão da pilha em vários pontos da associação, virando para a câmera o visor do multímetro para que pudéssemos fazer a leitura. Explicamos a função amperímetro do multímetro, o que é um amperímetro ideal e a forma como ele é inserido no circuito e o estudante teve a oportunidade de montar um circuito com um resistor e medir a corrente desse circuito.

Na sequência, explicamos brevemente alguns aspectos históricos da Lei de Ohm e teve início a atividade prática de laboratório. O estudante montou o circuito com um resistor de 100Ω e fez oito medidas de tensão e corrente neste circuito (Figura 15). Nós tomamos nota das medidas em uma tabela para, posteriormente, ler para o aluno. Após o término das medidas, o estudante iniciou a marcação dos pontos no quadro magnético. Neste momento o ajudamos com a determinação da proporção de escala, pois reconhecemos o quanto pode ser difícil esse processo quando realizado por um estudante com deficiência visual, apesar de sua, em geral, maior sensibilidade ao toque, principalmente de estudantes, como é o caso deste aluno, que desenvolveram a leitura em Braille [40]. Após a marcação dos pontos, o estudante posicionou o ímã em barra sobre uma distribuição que passava por cima ou próximo da maior quantidade de pontos (Figuras 16 e 17). Ao invés de pedir ao estudante para escolher dois pontos aleatórios e afastados para calcular a inclinação da reta, pedimos que escolhesse dois pontos mais afastados e que passassem exatamente abaixo, ou o mais próximo possível desse ímã comprido. Isso nos facilitou e permitiu que lhe passássemos suas coordenadas para que fosse calculada a inclinação da reta. Com os dados, o estudante conseguiu calcular a inclinação da reta e achou um valor de $103,3 \Omega$. Depois pedimos que usasse o multímetro para verificar o mesmo resistor e o valor medido foi 101Ω .

O último encontro seria usado apenas para a avaliação final, mas aproveitamos o início da aula para abordar o tema da eletricidade estática e, como em sua pesquisa sobre os raios o estudante encontrou e citou o conceito de indução eletrostática, aproveitamos também esse momento para abordar qualitativamente e de forma superficial, esse tema.

Iniciamos a avaliação com a maquete da Figura 6, onde o estudante manipulava a maquete e respondia a várias questões conceituais. Depois a atividade se seguiu com o estudante reproduzindo, agora sem nossa orientação, a

experiência da aula anterior, montando o circuito e traçando o gráfico para cálculo da resistência acoplada a esse circuito. Continuamos fazendo a leitura e a tabela para o estudante, mas, desta vez, o restante fez sozinho, inclusive ajustar a escala para marcar os pontos. Nesta avaliação final, que substituiu o relatório escrito como costuma ser feito neste curso, seu resultado foi um índice de acertos de 85 %.



FIGURA 12. Nesta imagem o estudante manipula, durante a aula, o multímetro na escala de voltímetro para medir a ddp de diversas pilhas e baterias.



FIGURA 13. Nesta imagem o estudante manipula, durante a aula, o multímetro na escala de ohmímetro e faz leituras de vários resistores.

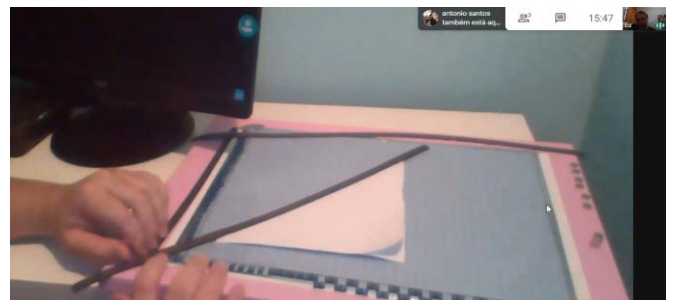


FIGURA 14. Nesta imagem vemos o estudante, durante a aula 4.5, manipulando o quadro magnético para calcular a tangente do ângulo mais à esquerda formado pela folha de papel branca.

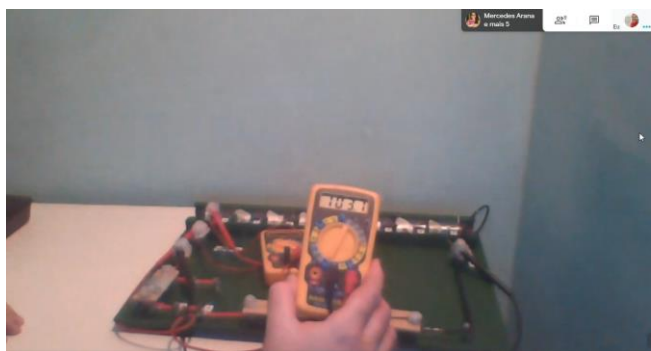


FIGURA 15. Nesta imagem o estudante faz as medidas de corrente e ddp durante a aula, enquanto anotamos os resultados em uma tabela.

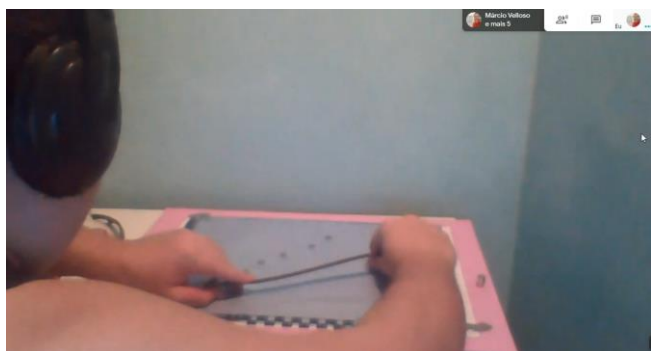


FIGURA 16. Nesta imagem o estudante manipula, durante a aula, o quadro magnético para colocar os pontos medidos e traçar a melhor reta.

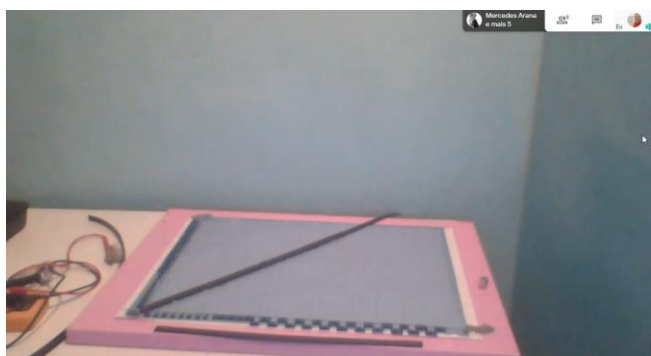


FIGURA 17 Aqui podemos observar a reta feita pelo nosso estudante cego.

V. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Apesar da universidade abrir suas portas para este estudante cego, percebe-se claramente, através dos relatos dos professores e do próprio aluno, que a política de inclusão desta universidade ainda não está estruturada para atendê-lo [1]. A presença desse estudante cego fez, muito lentamente,

com que a universidade buscasse se adaptar para melhor receber estudantes cegos e com deficiência visual. No entanto, até escrevermos este artigo, ainda não havia, por exemplo, um piso tátil na universidade. Percebemos que o avanço do estudante se deve, em grande parte, às iniciativas pessoais de alguns professores.

Em uma das conversas, ao tentar tranquilizar e levar esperança ao estudante dizendo que em breve a universidade retomaria as atividades presenciais e que ele poderia voltar a sua rotina de aulas com o convívio dos professores e colegas, o estudante relatou que preferia o ensino remoto ao presencial. Citou que teria que reaprender a chegar na universidade para não se perder, literalmente, no caminho, entre outras dificuldades do ensino presencial.

Com relação à primeira questão de pesquisa, na qual avaliamos a viabilidade da elaboração de atividades experimentais inclusivas de Física que consigam otimizar a participação de estudantes com deficiência visual, permitindo que essa participação se torne mais ativa, tanto na manipulação do experimento quanto na coleta e processamento dos dados, concluímos que sim, é viável. Se dispuséssemos de mais recursos, inclusive, o estudante poderia fazer as leituras do instrumento sem a nossa ajuda, através, por exemplo, de um multímetro com áudio.

A segunda questão aborda a possibilidade de fazer com que essas aulas experimentais fossem aplicadas através do Ensino Remoto. Percebemos que no Ensino Remoto há muitas barreiras a vencer, mas, verificando a evolução do estudante, podemos concluir que é um caminho viável sim. Mas que necessita de um grande empenho e sensibilidade do professor para adequar tanto os materiais quanto a linguagem, a fim de se conseguir algum progresso. Grande parte do sucesso desse projeto piloto se deve ao empenho do nosso estudante e de suas grandes habilidades para a utilização de ferramentas tanto manuais quanto digitais, como a placa *protoboard* ou os aplicativos de celular e computador, respectivamente.

A terceira questão proposta versa sobre a metodologia que utilizamos [20] para trabalhar esse projeto piloto. O fato da equipe de pesquisa estar presente em todas as aulas e, ao final de cada aula, termos reservado um tempo para discutir, planejar, readaptar e melhorar a abordagem dos conteúdos, enriqueceu muito o curso.

Ao final deste projeto piloto, foi decidido que o curso continuaria na modalidade remota, até que as aulas presenciais pudessem ser retomadas. E que alguns conceitos, como o de propagação de erros, que não foram vistos no projeto piloto, e são fundamentais para um futuro engenheiro, seriam abordados.

Percebemos algumas limitações da nossa pesquisa, já que foi feita com apenas um aluno cego, não representando ainda dados de que a mesma experiência possa ser reproduzível exatamente da mesma maneira, caso tivéssemos estudantes com diferentes bagagens e habilidades. No entanto, sensíveis ao projeto que desenvolvemos a partir de todos os dados coletados, percebemos que há uma necessidade urgente de pôr em prática políticas de acessibilidade e inclusão, não só a nível geral, como nos campi, mas, fundamentalmente, a nível institucional. Ou seja, cada unidade, como o Instituto de

Física desta instituição, precisa ter autonomia e investimento para atuar na inclusão dentro das especificidades que cada curso necessita e deve haver também integração e troca de experiências entre as instituições [41].

Todos os professores de Física que trabalharam com este estudante na universidade, assim como nós, o fizeram através de um ensino individualizado, o que não corresponde a um ensino inclusivo. A ideia é que essa experiência possa ser um início para o planejamento de um curso inclusivo, no qual os estudantes cegos possam assistir a mesma aula, junto com os demais estudantes. Percebemos muitas dificuldades nesse processo, já que o tempo e a interação com estes estudantes necessitam ser bem maiores. Portanto, acreditamos que todas estas experiências iniciais, desenvolvidas para este estudante, podem produzir materiais e metodologias genéricas para atender a outros estudantes que ingressarem neste instituto. No entanto, deve-se ter especial atenção às necessidades individuais, referentes às habilidades e bagagens formativas, trazidas por cada aluno, a fim de produzir novas metodologias e materiais que se adaptem a cada perfil. Para tanto é necessário que professor tenha muita sensibilidade, deixando o estudante manifestar-se e ouvindo-o sempre, ou seja, que tanto os materiais quanto a metodologia devam ser produzidas e testadas em conjunto com o estudante. Com uma atenção individualizada, a inclusão se torna um objetivo muito mais próximo e alcançável [41].

Em síntese, essa pesquisa é uma clara demonstração de que há caminhos possíveis sinalizados para que estes estudantes possam trilhar seus próprios sonhos e objetivos, e para isso, o esforço deve ser realizado de forma coletiva entre o aluno, o professor pesquisador e a instituição.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao filho do primeiro autor deste artigo, Matheus Pereira Velloso da Silveira pela ajuda nos testes dos materiais e sugestões para melhorá-los antes de serem enviados ao estudante cego. Agradecemos também as fundamentais colaborações do estudante Patrick Silva Barboza.

REFERÊNCIAS

[1] Martins, L. M. S. M. and Silva, L. G. S., *Trajatória acadêmica de uma estudante com deficiência visual no ensino superior*, Revista Educação em Questão **54**, 41 (2016).
[2] Comitê de Redação da Declaração Universal dos Direitos Humanos, Declaração Universal dos Direitos Humanos (1978). Disponível em: <http://www.onu.org.br/img/2014/09/DUDH.pdf>.

[3] Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas, Declaração dos Direitos das Pessoas Deficientes (1975).
[4] BRASIL, Constituição da República Federativa do Brasil, Brasília: Imprensa Oficial (1988).
[5] BRASIL, Estatuto da Criança e do Adolescente no Brasil, Lei 8.069 (1990).
[6] BRASIL, Declaração Mundial sobre Educação para Todos: plano de ação para satisfazer as necessidades básicas de aprendizagem. UNESCO, Jomtiem/Tailândia (1990).
[7] BRASIL, Declaração de Salamanca e linha de ação sobre necessidades educativas especiais, Brasília: UNESCO (1994).
[8] BRASIL, Ministério da Educação, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996).
[9] BRASIL, Congresso Internacional, Declaração Internacional de Montreal sobre Inclusão, Quebec, Canadá (2001).
[10] BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, Política Nacional de Educação Especial, Brasília: MEC/SEESP (1994).
[11] BRASIL, Ministério da Educação, Plano Nacional de Educação - PNE (2014).
[12] Aguilar, L., Walton G. and Wieman C., *Psychological insights for improved physics teaching*, Physics Today **67**, 5 43 (2014).
[13] Camargo, E. P., *Ensino de Física e Deficiência Visual: dez anos de investigações no Brasil*, (Editora Plêiade/ FAPESP, São Paulo, 2008), **1**, p. 10,17.
[14] Liakou, M., Manousou, E., *Distance Education For People With Visual Impairments*, European Journal of Open, Distance and E-Learning **18**, (2015).
[15] Ondin, Z., *Experiences of Students with Blindness and Visual Impairment in Online Learning Environments with regards to Instructional Media*, Doctoral Dissertation. Virginia Tech. Blacksburg, VA., 2015.
[16] Holt, M., Gillen, D., Cook, C., Miller, C. H., Nandlall, S. D., Setter, K., Setter, C., Thorman, P. and Kane, S.A., *Making Physics Courses Accessible for Blind Students: strategies for course administration, class meetings and course materials*, Phys. Teach. **57**, 94 (2019).
[17] Manah, V., Deku, P., Darling, S.M. and Avoke, S.K., *University teachers' perception of inclusion of visually impaired in ghanaiian universities*, International Journal of Special Education **26**, 70-79 2011 (2011).
[18] Bogdam, R. and Biklen, S.K., *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*, (Porto Ed., Porto, 1994).
[19] Toenders, F.G.C., Putter-Smits, L.G.A., Sanders, W.T.M. and Brok, P., *Analisando o ambiente de*

aprendizagem de física de alunos com deficiência visual no ensino médio, Phys. Educ. 52, 45027 (2017).

[20] Cobb, P., Confrey, J., Disessa, A. and Schauble, L., *Design Experiments in Education Research*, Educational Researcher **32**, (2003).

[21] Vygotsky, L. S., The Collected Works of L. S. Vygotsky: *The Fundamentals of Defectology (Abnormal Psychology and Learning Disabilities)*, Translated and with an Introduction by JANE E. KNOX, (Kluwer Academic/Plenum Publishes, New York, 1987) **2**, 97-112.

[22] Gaspar, A., *Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski*, (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2014), p. 209.

[23] Moreira, M. A., *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review* **1**, 25-46 (2011).

[24] Duit, R., Rhöneck, C., *Learning and understanding key concepts of electricity from. Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. International Commission on Physics Education, Edited by: A. Tiberghien, E. L. Jossem, J.B. Learning (I.C.P.E. Book, International Commission on Phys. Educ., 1997, 1998).

[25] Arons, A., *Teaching Introductory Physics*, (John Wiley and Sons, New York, 1997), pp. 188-189.

[26] McDermott, L. C., *Melba Newell Phillips Medal Lecture 2013: Discipline-Based Education Research. A View from Physics Lillian Christie McDermott Citation*, American Journal of Physics **82**, 729 (2014).

[27] Pacca, J. L. A., Fukui, A., Bueno, M. C. F., Costa, R. H. P., Valério, R. M. and Mancini, S., *COBB corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum*, Cad. Bras. Ens. Fís. **20**, 151-167 (2003).

[28] Gravina, M. H. and Buchweitz, B., *Mudanças nas Concepções Alternativas de Estudantes Relacionadas com Eletricidade*, Revista Brasileira de Ensino de Física **16**, 1-4 (1994).

[29] Montoya, A. O. D., *Piaget: Imagem Mental e Construção do Conhecimento*. (Editora UNESP, São Paulo, 2005). Disponível em: <<https://goo.gl/eNQk1z>>.

[30] Souza, M. M., Costa, M. P. R. and Studart, N., *Tecnologia para o ensino de eletrodinâmica para o aluno cego*, Física na Escola **9**, (2008).

[31] Torres, J. P. and Mendes, E., *Making Visual Illustrations of Physics Accessible to Blind Students*, The Physics Teacher **55**, 398 (2017).

[32] Gomes, J. A., *Revisão bibliográfica sobre o ensino de física para deficientes visuais*; Trabalho de conclusão de curso de licenciatura em Física, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

[33] Xavier, C. T. A., *Ensino de física com perspectiva inclusiva: proposta didático-metodológica para a abordagem de conceitos básicos da eletrodinâmica*; Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física, Universidade Federal Fluminense, (2012).

[34] Camargo, E. P., *O ensino de Física no contexto da deficiência visual: elaboração e condução de atividades de ensino de Física para alunos cegos e com baixa visão*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual De Campinas, (2005).

[35] Silveira, M. V., Barthem, R. B. and Santos, A. C. dos, *Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio*, Rev. Bras. Ens. Fís. **41**, e20180084 (2019).

[36] Silveira, M. V., Barthem, R. B. and Santos, A. C., *Colorblind cybernetic eye: an inclusive analogy for color vision*, Phys. Educ. **55**, 01 (2019).

[37] Supalo, C. A., Humphrey, J. R., Mallouk, T. E., Wohlersb, H. D. and Carlsenc, W.S., *Examining the use of adaptive technologies to increase the hands-on participation of students with blindness or low vision in secondary-school chemistry and physics*, Chem. Educ. Res. Pract. **17**, 1174-1189 (2016).

[38] Camargo, E. P., *Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de Física*, (Editora Unesp, São Paulo, 2012).

[39] Bill, L. B., *Educação das Pessoas com Deficiência Visual: uma forma de enxergar*, 1 ed. (Editora Appris, Curitiba, 2017).

[40] Jones, M. G., Taylor, A. R. and Broadwell, B., *Concepts of scale held by students with visual impairment*, Journal of Research in Science Teaching **46**, 506-519 (2009).

[41] Capelli, J. C. S., F. Blasi, Di and Dutra, F. B. S., *Percepção de Docentes sobre o Ingresso de um Estudante Surdo em um Campus Universitário*, Rev. Bras. Ed. Esp., Bauru **26**, 85-108 (2020).