



ANÁLISE EXPERIMENTAL DE CIRCUITOS ELÉTRICOS A PARTIR DE ATIVIDADES PRESENCIAIS E CONTROLADAS REMOTAMENTE

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF ELECTRICAL CIRCUITS FROM ON-SITE AND REMOTELY CONTROLLED ACTIVITIES

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE CIRCUITOS ELÉTRICOS DE ACTIVIDADES *IN SITU* Y CONTROL REMOTO

Marco Aurélio Alvarenga Monteiro^{①*} José Silvério Edmundo Germano^{①}
Idmaura Calderaro Martins Galvão^{①***}**

Cómo citar este artículo: Monteiro, M., Germano, J. y Galvão, I. (2023). Análise experimental de circuitos elétricos a partir de atividades presenciais e controladas remotamente. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 18(3), 422-439. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.20315>

Resumo

Neste trabalho buscou-se comparar o impacto da realização de atividades experimentais, presenciais e controlada remotamente, sobre a aprendizagem de conceitos relativos aos circuitos elétricos por alunos do Ensino Médio em cinco escolas públicas do interior de São Paulo. Em cada escola foram aplicados, em duas turmas de terceiro ano, um grupo submetido ao experimento presencial e outro ao experimento remoto. Os experimentos abordaram os conceitos de associação de resistores, corrente elétrica, tensão elétrica e potência elétrica dissipada. Os dados foram coletados por meio de questionários, pré-teste e pós-teste, e analisados com o uso do método D de Cohen (1977) e do fator g de Gery (1972). O método D de Cohen é uma medida estatística utilizada para avaliar o tamanho do efeito (ou magnitude da diferença) entre duas amostras independentes, enquanto o fator g de Gery é uma medida que compara o desempenho dos grupos em um experimento, levando em consideração as diferenças individuais em habilidade ou inteligência. Os resultados indicaram que a realização dos experimentos desempenhou um papel importante na aprendizagem dos alunos, com destaque para aqueles que participaram do experimento controlado remotamente. Além de oferecer uma abordagem contextualizada dos conceitos científicos, os experimentos remotos também proporcionaram aos estudantes a oportunidade de manipular experimentos reais em qualquer lugar e horário, tornando-se um método de atividade promissor para o Ensino de Ciências. Portanto, o estudo sugere que a realização de experimentos remotos pode

Recibido: Enero de 2023; aprobado: Agosto de 2023

* Livre-Docente. Universidade Estadual Paulista. Brasil. marco.monteiro@unesp.br - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4426-1638>

** Doutor em Física. Universidade Estadual Paulista. Brasil. jse.germano@unesp.br - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1969-0318>

*** Doutora em Educação para a Ciência. Escola Estadual Professora Miquelina Cartolano. Brasil. idmaura@gmail.com - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5277-2024>

ser uma forma eficaz e segura de promover a aprendizagem de conceitos científicos por alunos do Ensino Médio, complementando as atividades presenciais e permitindo uma maior flexibilidade na realização das atividades experimentais.

Palavras chave: Ensino de Física. Experimento controlado remotamente. Circuitos elétricos. Experimentação. Tecnologia Digital de Informação e Comunicação.

Abstract

In this work, we sought to compare the impact of carrying out experimental activities, in person and remotely controlled, on the learning of concepts related to electrical circuits by high school students in five public schools in the interior of São Paulo. In each school, two third-year classes were applied, one group submitted to the face-to-face experiment and the other to the remote experiment. The experiments addressed the concepts of association of resistors, electric current, electric voltage and dissipated electric power. Data were collected through questionnaires, pre-test and post-test, and analyzed using Cohen's D method (1977) and Gery's g factor (1972). Cohen's D method is a statistical measure used to assess the effect size (or magnitude of the difference) between two independent samples, while Gery's g factor is a measure that compares the performance of groups in an experiment, taking into account the individual differences in ability or intelligence. The results indicated that carrying out the experiments played an important role in the students' learning, especially those who participated in the remotely controlled experiment. In addition to offering a contextualized approach to scientific concepts, remote experiments also provided students with the opportunity to manipulate real experiments at any place and time, becoming a promising activity method for Science Teaching. Therefore, the study suggests that the carrying out remote experiments can be an effective and safe way to promote the learning of scientific concepts by high school students, complementing face-to-face activities and allowing greater flexibility in carrying out experimental activities.

Keywords: Physics Teaching, Remote controlled experiment, Electric circuits. Experimentation, Digital Information and Communication Technology.

Resumen

En este trabajo, buscamos comparar el impacto de la realización de actividades experimentales, presenciales y teledirigidas, en el aprendizaje de conceptos relacionados con los circuitos eléctricos por parte de estudiantes de secundaria en cinco escuelas públicas del interior de São Paulo. En cada escuela se aplicaron dos clases de tercer año, un grupo sometido al experimento presencial y el otro al experimento a distancia. Ambos abordaron los conceptos de *asociación de resistencias*, *corriente eléctrica*, *voltaje eléctrico* y *potencia eléctrica disipada*. Los datos fueron recolectados a través de cuestionarios, pretest y posttest, y analizados a través del método D de Cohen (1977) y el factor g de Gery (1972). El primero consiste en una medida estadística utilizada para evaluar el tamaño del efecto (o la magnitud de la diferencia) entre dos muestras independientes, mientras que el factor g de Gery es una medida que compara el desempeño de los grupos en un experimento, teniendo en cuenta las diferencias individuales en capacidad o inteligencia. Los resultados indicaron que los experimentos cumplieron un

papel importante en el aprendizaje de los estudiantes, especialmente de quienes que participaron en el controlado a distancia. Además de ofrecer un acercamiento contextualizado a los conceptos científicos, los experimentos remotos también brindaron a los estudiantes la oportunidad de manipular experimentos reales en cualquier lugar y momento; en este sentido, se convirtieron en un método prometedor para la Enseñanza de las Ciencias; en una forma eficaz y segura de promover el aprendizaje de conceptos científicos por parte de los estudiantes de secundaria; y en un complemento de las actividades presenciales, gracias a que permiten una mayor flexibilidad en su ejecución.

Palabras clave: Educación Matemática, Estrategia de aprendizaje. Enseñanza, Pluralismo cultural.

1. Introdução

A busca por um processo de ensino de conceitos científicos que possa ser significativo para os alunos, em especial aqueles de natureza mais abstrata como os fenômenos elétricos, tem se direcionado na indicação de práticas experimentais, sejam elas reais ou virtuais (GAMA JÚNIOR, 2018; MOURA, 2016; NOZELA, 2016; MORO, 2015; PEDROSO, 2014). Em especial, na atualidade, é cada vez maior a demanda por um Ensino de Ciências que não só ofereça aos estudantes a oportunidade de conhecer conceitos, princípios e regras, mas que, fundamentalmente, possibilite aos estudantes o desenvolvimento de competências que envolve um saber relacionado a modos de agir e de tomada de atitudes (SILVEIRA, BEDIN, 2021).

Nesse sentido, muitos pesquisadores têm, desde a década de 1960, indicado a prática experimental como estratégia importante para o ensino científico (MONTEIRO, 2017).

Aliás, como destacam ARAÚJO, ABIB (2003) e PINHO (2000) há um consenso entre os pesquisadores em Ensino de Ciências que as atividades experimentais são fundamentais para a aprendizagem de conhecimentos científicos.

ARAÚJO, ABIB (2003) indicam que as atividades experimentais podem propiciar a participação ativa dos estudantes e, dessa maneira, promover a curiosidade, o interesse e um efetivo envolvimento com sua aprendizagem. Outro fator relevante indicado por esses autores refere-se a possibilidade de propiciar a

construção de um ambiente motivador, agradável, estimulante e rico em situações novas e desafiadoras que, quando bem empregadas, aumentam a probabilidade de que sejam elaborados conhecimentos e sejam desenvolvidas habilidades, atitudes e competências relacionadas ao fazer e entender a Ciência (ARAÚJO, ABIB, 2003 p. 190).

Entretanto, muitos outros trabalhos chamam a atenção para o fato de as escolas não estarem

adequadamente preparadas para essa prática (SILVA, EGAS, 2022; MONTEIRO, 2017).

Com o evento da pandemia de COVID-19, que impediu 1,7 bilhões de estudantes no mundo inteiro de assistirem aulas presenciais (UNESCO, 2020), houve, além da suspensão de aulas com práticas experimentais, uma aceleração do processo de uso de recursos computacionais por parte dos professores brasileiros. (MARTINS, 2020; CANI, 2019).

Considerando que o uso de práticas experimentais presenciais envolve dificuldades inerentes à diferentes variáveis da realidade de inúmeras escolas brasileiras: falta de infraestrutura adequada para práticas experimentais, inexistência de kits experimentais, dificuldades dos professores em encontrarem tempo para montar, desmontar e dar manutenção nos equipamentos experimentais, etc. (MONTEIRO, 2017), a tendência é que as atividades experimentais presenciais sejam cada vez mais reduzidas.

Isso significa dizer que, apesar das fundamentais contribuições que as atividades experimentais podem trazer para o processo de ensino e de aprendizagem, das contínuas discussões, conclusões de pesquisas sobre o laboratório, a experimentação, a coleta de dados, o levantamento de hipóteses, as discussões em busca de resoluções de problemas e de argumentos que justifiquem os dados obtidos, continuarão distantes da maioria das escolas brasileiras mesmo que, atualmente muito se fale das metodologias ativas no processo de ensino e aprendizagem de Ciências.

Não obstante a contribuição das inúmeras ferramentas didáticas desenvolvidas a partir da evolução das Novas Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação – NTDIC – aplicadas ao ensino, muitas críticas são feitas no sentido de que tais simulações e/ou animações se constituem em mera idealização da realidade e, por isso, sendo limitadas, não oferecem as possibilidades que as práticas experimentais convencionais, presenciais apresentam (MEDEIROS, MEDEIROS, 2002).

Há que se considerar que apesar de contribuir com a contextualização da discussão de conceitos científicos, possibilitar o levantamento e o teste

de hipóteses, bem como de propiciar o desenca-
deamento de discussões interessantes e importan-
tes sobre os conceitos e permitir a visualização do
modelo conceitual para a explicação do fenômeno
(visualização de campo, de grandezas vetoriais e
escalares) impossível, obviamente, em situação da
experimentação real, não podemos nos esquecer
de que as simulações são apenas representações
da realidade, seguindo uma modelagem matemá-
tica estabelecida no programa computacional que
estabelece o funcionamento da simulação. Diz res-
peito, portanto, às situações em condições ideais e
não reais. Nesse contexto, os dados não precisam
ser tratados, discussões sobre exatidão e precisão
e teoria erros no processo de medida são dispensá-
veis. Esses aspectos evidenciam que as simulações
computacionais são atividades complementares e
não substitutivas das atividades experimentais reais.
Nesse sentido, atualmente, há um crescimento es-
tudo que propõem a utilização de laboratórios
controlados remotamente em aulas de ciências. Os
chamados weblab são recursos didáticos reais, não
virtuais, porém sua estrutura física não se encontra
montada em nenhum lugar da escola, próximos dos
alunos. Na verdade, todos os dispositivos envolvidos
para a realização de coleta de dados estão funcio-
nando em outro local, às vezes, distantes muitos
quilômetros da escola onde a atividade experimental
será realizada com o aluno. Assim, o que possibi-
lita a realização desses experimentos por parte dos
alunos é a existência de um computador ligado à
rede mundial de computadores (MONTEIRO, 2017).
Neste trabalho apresentamos um estudo relativo às
potencialidades do uso de um experimento real, mas
controlado remotamente, de forma que pode ser
realizado por meio de recursos que tenham acesso
à internet.

2. A importância da experimentação e da experimentação remota

Não é novidade que as aulas de física tradicionais,
centradas na fala do professor, nas quais o aluno
apenas assiste, anota e faz exercícios de reforço da

teoria apresentada, são bastante enfadonhas. Ao
contrário, aquelas aulas em que a prática de ensino
possibilita ao aluno assumir posição ativa no proces-
so de ensino e de aprendizagem é mais motivadora
e prazerosa para os estudantes (HODSON, 1994).
Portanto, as atividades experimentais são normal-
mente utilizadas pelos professores com diferentes
intuitos, dentre eles podemos citar:

- motivar os estudantes para o estudo de deter-
minado tema científico;
- ensinar as técnicas de laboratório;
- abordar e/ou contextualizar conceitos;
- ensinar sobre a natureza da Ciência e do fazer
científico;
- facilitar a aprendizagem e compreensão dos
conceitos abordados; e
- propiciar o desenvolvimento de habilidades
práticas (HODSON, 1994; BORGES, 2002).

Assim sendo, pode-se afirmar que o desenvolvimen-
to de atividades práticas em sala de aula oportuniza
contribuições não apenas nas dimensões de avanços
cognitivos por parte dos alunos, relativos à compre-
ensão de conceitos científicos, mas também enseja
situações que permitem a eles o desenvolvimento
de uma série de habilidades e competências.

Para OLIVEIRA (2010) as atividades de cunho expe-
rimental envolvem os alunos em ações de natureza
socializadora, estimulando-os a desenvolverem ha-
bilidades sociais como o estabelecimento de vín-
culos com parceiros para a realização de trabalhos
colaborativos, incentivando-os também a ouvirem
e considerarem a opinião de outros e a convivên-
cia com o diferente e o contraditório. Assim, tais
atividades desafia os discentes à tomada de deci-
são, de terem iniciativa pessoal, sabendo formar
sua opinião sem, contudo, desrespeitar a opinião
alheia, entendendo que a liberdade de expressão é
um direito que só pode ser exercido se for garantido
para todos com o respeito.

O autor ainda enfatiza que a experimentação como
recurso de ensino ainda é vantajoso por estimular o
desenvolvimento da criatividade dos estudantes e

contribuir para que eles se aprimorem quanto às suas capacidades de, observação e de organização dos registros de informações realizados, de análise dos dados, bem como a de fazer o levantamento de hipóteses para a interpretação dos fenômenos estudados. Em convergência com essa opinião temos SÈRE, COELHO, NUNES (2003) enfatizando que a experimentação também pode contribuir para o estudante ser capaz de desenvolver o pensamento abstrato, ou seja, aquele que permite o uso de conceitos, símbolos e modelos para descrever situações que se estabelecem entre a causa e o efeito. Considerando, também, as demandas para a formação crítica do estudante, o uso da atividade experimental permite ao estudante estabelecer relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade, permitindo a formação de um aluno crítico-reflexivo capaz de entender a realidade sócio cultural política e econômica na qual está inserido a partir dos conceitos, princípios e regras científicas (OLIVEIRA, 2010).

Outros autores também ressaltam muitas outras contribuições das estratégias experimentais para a formação do cidadão crítico, participativo e capaz de intervir na sociedade para resolver os problemas que surgem no cotidiano. Para além das competências conceituais e atitudinais, há que se admitir as contribuições que a experimentação traz aos alunos em termos de competências de natureza procedimental tais como: o manuseio de aparelhos para a tomada de medidas, a construção de gráficos, bem como a elaboração de argumentos que justifiquem os dados obtidos, que, nem sempre, estão de acordo com aqueles esperados pelo modelo proposto pela teoria, possibilitando discussões e análise. (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCCO, 2002; CARVALHO, GIL-PÉREZ, 2003). Desse modo a não realização atividades experimentais no contexto do Ensino de Ciências traz enormes prejuízos ao processo de formação do cidadão que vive numa sociedade parametrizada pelo desenvolvimento científico e tecnológico. Isso significa, para muitos, um despreparo para entender e participar da sociedade cujos fundamentos mais básicos se encontra na Ciência e na tecnologia. Numa época de intensificação do processo de globalização da

economia a incapacidade do cidadão de transformar informação em conhecimento o conduz ao desemprego, à fome, à miséria, à violência, enfim à exclusão social (MONTEIRO, 2017).

Não obstante, a realidade que vivemos é de desalento. Dados do Censo escolar de 2019 (INEP, 2020) evidencia que o Brasil está muito longe oferecer às suas escolas a infraestrutura mínima para a realização de experimentos. Destaca-se que as prefeituras, responsáveis por 89,9% das escolas brasileiras oferecem, em 28,8% o de laboratório de ciências. Nas instituições de ensino estaduais, cerca de 16% do total de escolas brasileiras, 37,5% dispõem dessa infraestrutura. No caso das escolas Federais, os laboratórios de ciências existem em 83,4% dos estabelecimentos de ensino, contudo as escolas controladas pelo governo federal representam apenas 1,1% do total das escolas do Brasil. É a partir desses dados que se torna possível entender as dificuldades relativas à implementação de práticas experimentais presenciais em sala de aula na Educação Básica: a evidente falta da estrutura mínima para o desenvolvimento de atividades experimentais, sem contar outros fatores como: a alta carga horária dos professores, o número excessivo de alunos por sala de aula, a quantidade reduzida de aulas de física, a falta de materiais e equipamentos para a pronta utilização, entre outros motivos como já destacados (MONTEIRO, 2017). Todavia, é possível observar, por meio das informações da figura 1, que há uma maior disponibilidade de acesso à internet.

Dessa forma, a atividade experimental, que é tão amplamente defendida por suas várias vantagens, acaba sendo apenas parte de um discurso sem aplicação. Uma alternativa oferecida para superar as limitações quanto à falta de laboratório e equipamento experimental é a utilização de laboratórios controlados remotamente (MONTEIRO *et al.*, 2013; MONTEIRO, 2017).

Essa tecnologia parece vir ao encontro das necessidades do professor, pois com ela não é mais necessário que ele construa o aparato experimental, gastando tempo e dinheiro, pois o experimento já está pronto, bastando, apenas acessá-lo pela

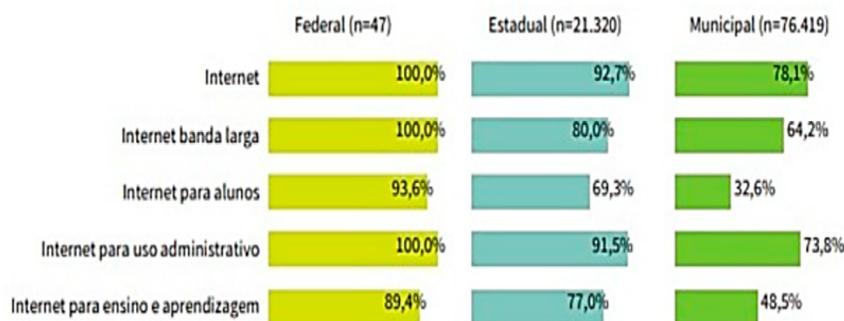


Figura 1. Disponibilidade de internet nas escolas de ensino médio no Brasil – 2020.

Fonte: INEP (2022)

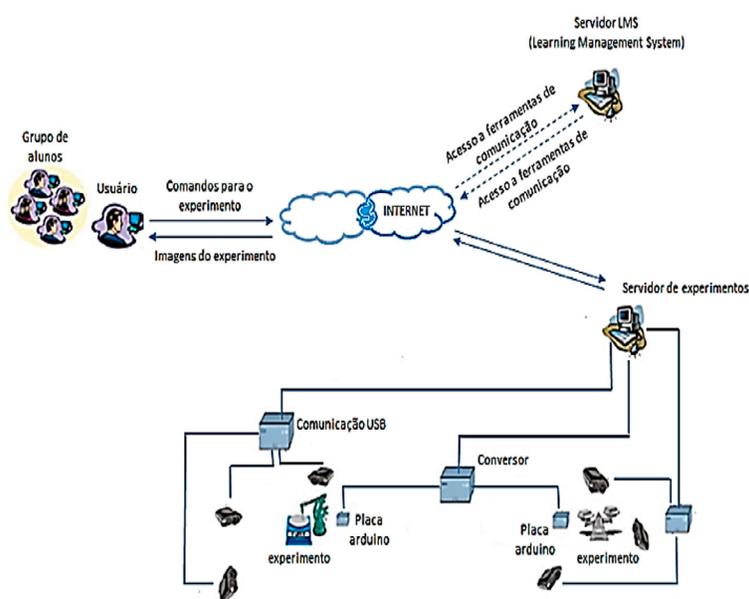


Figura 2. Esquema de funcionamento de um laboratório controlado remotamente.

Fonte: Adaptado de MONTEIRO *et al.* (2013 p. 197).

internet. Como vimos, o acesso à internet é muito mais disponível do que a estrutura de laboratório para uma parcela considerável das escolas brasileiras, especialmente para as escolas do Estado de São Paulo. Dessa forma, concordamos com os autores GIROTTI JUNIOR *et al.* (2022) que afirmam que as atividades de Laboratório remoto podem ser utilizadas com a função desenvolver práticas complementares ao processo de ensino e aprendizagem. Tal tecnologia ainda é nova no Brasil, mas se mostra pertinente visto o quadro da situação do ensino no país, onde laboratórios de ciência são raros em contraposição aos de informática e o acesso à internet. Para BENCOMO DORMIDO (2004) os laboratórios

controlados remotamente podem ser definidos como a disposição de experimentos reais que existem num local físico que não está na escola ou de onde o aluno está. Entretanto, pode ser acessado pelos estudantes e professores por meio de computadores, tablets ou mesmo smartphones ligados à internet. As imagens do experimento, bem como todo o controle e ajustes de seus parâmetros, são obtidos por meio de câmeras e de circuitos eletroeletrônicos, respectivamente, que automatizam o funcionamento do equipamento permitindo a coleta de dados. MONTEIRO *et al.* (2013) oferecem um esquema do funcionamento de um laboratório controlado remotamente, conforme a figura 2.

Pelo esquema dessa figura, um laboratório controlado remotamente pode ser acessado mediante à conexão com a internet, sendo possível ao aluno escolher, entre diversas opções, o experimento que deseja realizar. Ao escolher por uma delas, é possível visualizar o dispositivo experimental por meio de câmeras locais e ajustá-lo às condições iniciais de tomada de dados com os comandos feitos pelo mouse do computador. Assim, o estudante poderá alterar as configurações de parâmetros experimentais e coletar dados, visualizando-os por meio de medidores disponíveis no aparato experimental montado.

Há também a disponibilidade de recursos de apoio à aprendizagem do estudante, como, por exemplo, textos de apoio, vídeoaulas, simulações, animações, bem como salas de bate-papos, fóruns para discussão, proposição de problemas, entre outros. Autores como JOHNSTON, AGARWAL (1995) afirmam que as características de um laboratório controlado remotamente são as seguintes:

- controle à distância, bem como o monitoramento de aparatos experimentais;
- existência de recursos de comunicação multimídia entre os usuários;
- disponibilização de diferentes recursos de apoio ao processo de aprendizagem dos estudantes como: textos, figuras, esquemas, arquivos, caderno de notas digital, etc.
- sistema de gerenciamento como agendamento, escolha de experimento disponíveis;
- recursos de segurança tais como: dar permissão ou negar acesso a usuários, bem como para dirimir quaisquer falhas que o sistema possa apresentar;
- disponibilização de diversos tipos mídias interativas entre professor, alunos e experimento, tais como dispositivos de voz, de imagem, de observação de dados, de coleta de resultado e configuração do aparato experimental;
- largura de banda adequada para permitir a comunicação de dados, assim como de imagens e vídeos sem delays.

Para GARCÍA-ZUBÍA (2004 pp. 2-3) um laboratório controlado remotamente precisa disponibilizar os seguintes recursos técnicos:

- um conjunto de hardwares para o controle e acesso aos motores e a automação do experimento.
- uma página web que permita o acesso ao hardware do aparato experimental;
- existência de um software capaz de estabelecer comunicação entre o usuário e o conjunto de hardware através da rede;
- um servidor que armazene a páginas web e a aplicação cliente-servidor;
- webcams adequadas para poder mostrar na página web as diferentes ações de controle do usuário;
- um programa de gestão administrativa para lidar com senhas, tempo de conexão, segurança de acesso e afins.

Com o objetivo de ampliar a prática experimental de seus estudantes de engenharia, foi criado na Universidade de Siena na Itália o ACT (Automatic Control Telelab), um dos primeiros laboratórios totalmente controlados remotamente no mundo. Voltado para a área de engenharia, a ideia era permitir que os estudantes estudassem por meio da realização de experimentos disponibilizando os aparatos experimentais 24 horas por dia (CASINI, PRATTICCHIZZO, VICINO, 2003).

Do ponto de vista econômico em relação à implementação e manutenção da infraestrutura, em comparação ao laboratório convencional presencial, laboratórios controlados remotamente, são muito mais vantajosos, tendo em vista o fato de não limitar o número de alunos que podem acessá-lo e por não restringir o seu uso, oferecendo muito mais flexibilidade para os estudantes. Além disso, há que se considerar a possibilidade de serem compartilhados por diferentes instituições de ensino, permitindo maior interação e trocas de ideias, reduzindo custos de implementação, gestão e manutenção. (BISCHHOOF, RÖHRING, 2001; GARCIA-ZUBÍA,

2004; LOPES, 2007; CARDOSO, TAKAHASHI, 2011; MONTEIRO *et al.*, 2013).

Outras vantagens destacadas por esses autores, em relação aos experimentos controlados remotamente são:

- **Flexibilidade:** o aparato experimental pode ser manipulado no contexto de sala de aula, juntamente com o professor e colegas presentes fisicamente, ou na residência do estudante, em bibliotecas, salas de estudos, enfim, também como uma atividade extra - sala de aula, nas chamadas atividades de campo. Mesmo sozinho fisicamente, o aluno ainda pode contar com a presença dos colegas e do professor de maneira remota;
- **Inclusividade:** oferecem condições de serem mais adaptáveis a todos alunos, inclusive aqueles que necessitam de necessidades especiais. Essa característica amplia a democratização da atividade e facilita o processo de inclusão.

Em nosso estudo, temos como objeto de estudar as contribuições reais de um laboratório controlado remotamente e, para tanto, comparamos um experimento controlado remotamente com outro presencial do ponto de vista pedagógico.

Detalhes da metodologia de coleta e análise dos dados são descritas no item que segue.

3. Metodología

Neste trabalho, de caráter qualitativo, investigamos o impacto de um experimento controlado remotamente em comparação com o mesmo experimento realizado presencialmente de forma convencional. A ideia foi a de compreender se o experimento remoto poderia contribuir com o ensino de conceitos científicos, mais especificamente de física, quando não se tem acesso à possibilidade de se realizar experimentos presenciais convencionais.

Para tanto, selecionamos cinco escolas públicas brasileiras do Estado de São Paulo, com turmas do Ensino Médio. O critério de escolha dessas escolas

foi por se colocarem à disposição em participar do nosso trabalho investigativo.

Em cada uma das cinco escolas aplicou-se os experimentos em duas turmas de terceiro ano, abordando a temática relacionada aos conceitos ligados à primeira Lei de Ohm e de circuitos elétricos classificados em série, em paralelo e misto. Esses temas foram escolhidos devido a grande dificuldade de aprendizagem apresentadas pelos alunos em relação aos conceitos envolvendo os fenômenos elétricos. BARBOSA *et al.* (1999) chamam a atenção para o fato de os alunos apresentarem muitas dificuldades com a aprendizagem de conceitos de Física de forma em geral, contudo, enfatizam aqueles relacionados à eletricidade. Os autores destacam ainda que, principalmente em relação ao tema de circuitos elétricos, os alunos do Ensino Médio tendem a desconsiderar o papel da configuração do circuito elétrico na intensidade luminosa de uma lâmpada, atribuindo a esse caráter apenas a sua potência nominal.

Nesse sentido, visando investigar se as atividades experimentais poderiam contribuir para a superação dessas dificuldades e, se as atividades realizadas no laboratório remoto poderiam contribuir na mesma medida que o laboratório presencial convencional, em cada escola uma turma de terceiro ano, (3º ano R), realizava a atividade experimental controlada remotamente, enquanto, a outra turma (3º ano P), realizava a atividade experimental presencial convencional. Como está indicado na tabela 1.

Antes da realização experimental, presencial ou remota, os professores solicitaram que suas turmas de alunos pesquisassem em livros ou na internet o tema relacionando aos circuitos elétricos em série, paralelo e misto e buscassem responder a seguinte questão: A configuração do circuito elétrico interfere na potência elétrica dissipada?

Em aulas posteriores, os alunos apresentaram seus trabalhos e o professor retomando o tema, explicou-o detalhadamente, buscando sanar possíveis dúvidas dos estudantes.

Em outra aula, um pré-teste relativo aos conceitos básicos de circuitos elétricos foi aplicado, com o objetivo de comparar o desempenho dos alunos

Tabela 1. Distribuição das turmas de alunos onde foi aplicado o experimento

ESCOLA	3º ANO R	3º ANO P
1	Experimento controlado remotamente Número de alunos = 31	Experimento presencial convencional Número de alunos = 34
2	Experimento controlado remotamente Número de alunos = 36	Experimento presencial convencional Número de alunos = 38
3	Experimento controlado remotamente Número de alunos = 33	Experimento presencial convencional Número de alunos = 32
4	Experimento controlado remotamente Número de alunos = 30	Experimento presencial convencional Número de alunos = 34
5	Experimento controlado remotamente Número de alunos = 33	Experimento presencial convencional Número de alunos = 34

Turmas de alunos onde foi aplicado o experimento

Fonte: Elaboração do autor.

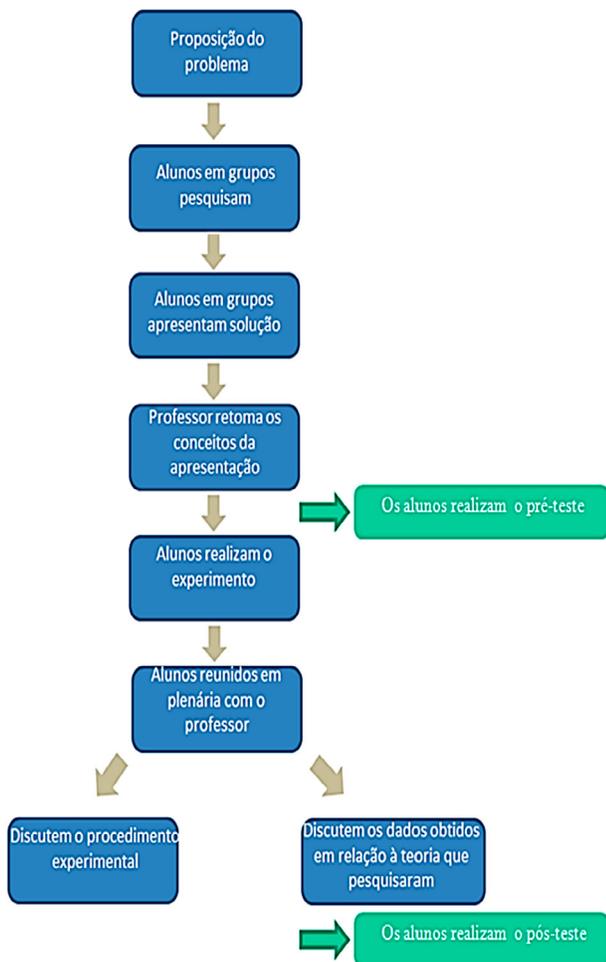


Figura 3. Etapas das atividades.
Fonte: Elaboração do autor.

em pós teste, ou seja, e um teste realizado após a realização dos experimentos.

Somente em uma aula após a aplicação do pré-teste, os experimentos, presencial e remoto, foram aplicados. Após a realização do experimento, cada uma das turmas realizou um pós-teste.

Em resumo, a figura 3 apresenta as etapas das atividades realizadas pelos alunos e professor na pesquisa.

a. Descrição da atividade presencial convencional aplicada

O experimento presencial convencional foi elaborado e idealizado pelo orientador deste trabalho com a perspectiva de ser de baixo custo e de fácil construção e manuseio. Constituiu-se dos seguintes materiais: de uma placa de madeira na qual se adapta três lâmpadas com soquete e um suporte de 4 pilhas de 1,5 V cada uma. Como indicado na figura 4.



Figura 4. Materiais utilizados para elaboração do experimento presencial.
Fonte: Elaboração do autor.

As conexões entre as lâmpadas foram feitas por 6 ganchos (pitão) parafusados na madeira e por 4 trincos de portão (aldravas) como indicado na figura 5. O experimento presencial convencional permitia a possibilidade de montagem de três configurações diferentes de circuito elétrico: circuito em série, em paralelo e misto, como se pode ver nas figuras 6, 7 e 8.

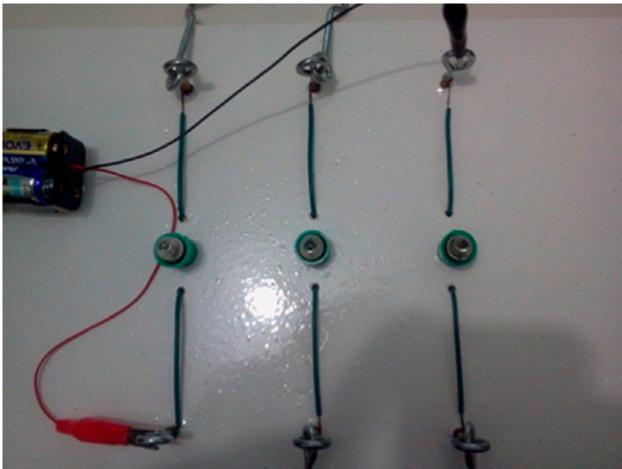


Figura 5. Visualização da montagem do experimento presencial.
Fonte: Elaboração do autor.

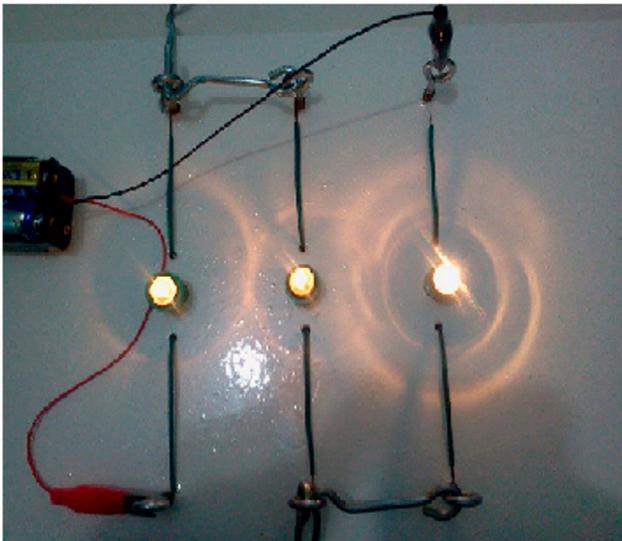


Figura 6. Experimento presencial montado em série.
Fonte: Elaboração do autor.

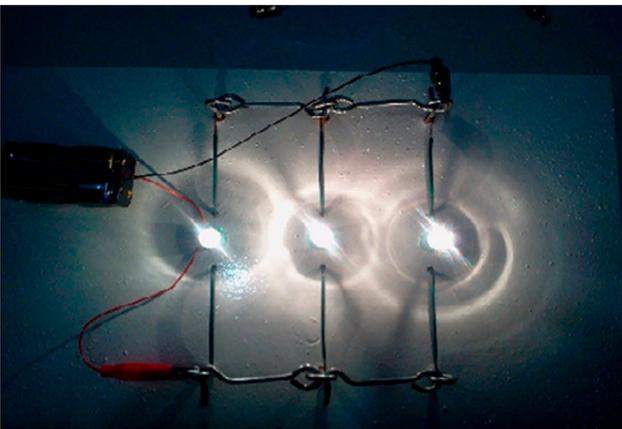


Figura 7. Experimento presencial montado em paralelo.
Fonte: Elaboração do autor.

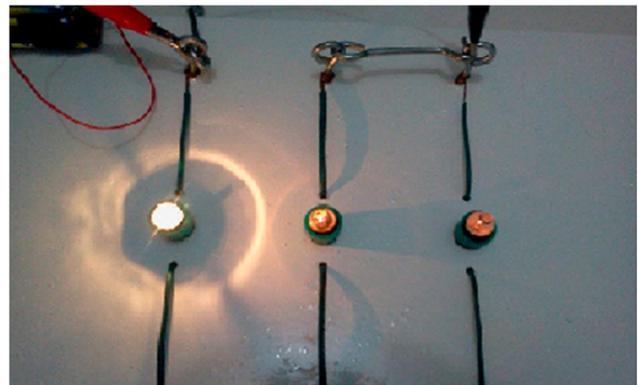


Figura 8. Experimento presencial com circuito misto.
Fonte: Elaboração do autor.

b. Descrição da atividade experimental controlada remotamente

A construção do experimento controlado remotamente foi realizada com diversos materiais e equipamentos: uma placa de madeira como base do experimento que é similar à um painel sinótico, leds de alto brilho, dois multímetros, relés, lâmpadas incandescentes, uma placa Arduino UNO (plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre), bem como outros elementos eletroeletrônicos: chaves, circuitos integrados, resistores, fios, etc. Na figura 9, mostramos a parte frontal da montagem visualizada por um usuário no momento da realização da atividade experimental remota. As chaves (S1, S2 e S3) são representadas pelo acionamento de leds vermelhos que, de forma lúdica, caracterizam o estado dos contatos elétricos presentes no circuito misto (série e paralelo) das lâmpadas de 12Vcc (L1, L2 e L3). Em uma placa, a relés conferem o acionamento real dos contatos das lâmpadas e os contatos de comutação dos multímetros presentes na montagem. Os dois instrumentos têm a função de voltímetro e de amperímetro. O circuito de comando é estabelecido a partir da placa Arduino UNO. A leitura e a coleta de todos os dados são realizadas, em tempo real, pelo usuário através de uma câmera.

eletroeletrônicos: chaves, circuitos integrados, resistores, fios, etc. Na figura 9, mostramos a parte

frontal da montagem visualizada por um usuário no momento da realização da atividade experimental remota. As chaves (S1, S2 e S3) são representadas pelo acionamento de leds vermelhos que, de forma lúdica, caracterizam o estado dos contatos elétricos presentes no circuito misto (série e paralelo) das lâmpadas de 12Vcc (L1, L2 e L3). Em uma placa, a relés conferem o acionamento real dos contatos das lâmpadas e os contatos de comutação dos multímetros presentes na montagem. Os dois instrumentos têm a função de voltímetro e de amperímetro. O circuito de comando é estabelecido a partir da placa Arduino UNO. A leitura e a coleta de todos os dados são realizadas, em tempo real, pelo usuário através de uma câmera.

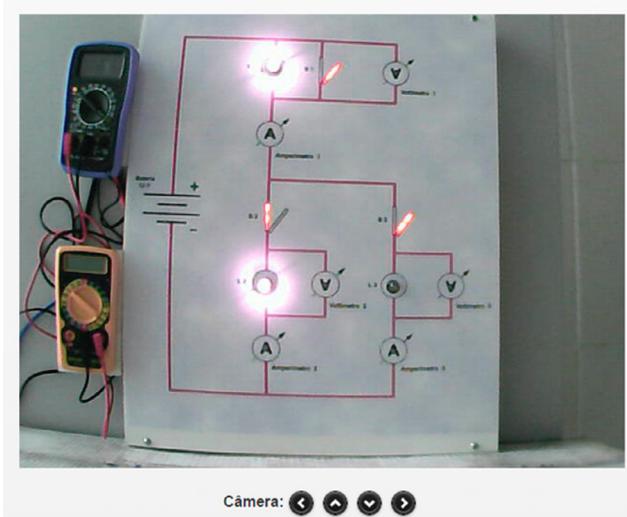


Figura 9. Visualização da montagem do experimento remoto.
Fonte: Elaboração do autor.

Da mesma forma que o experimento presencial convencional, dependendo do acionamento das chaves os estudantes podem ter diferentes configurações do circuito.

A seguir temos as figuras 10, 11 e 12 a partir das quais mostramos o circuito nas configurações de um circuito em série, um circuito paralelo e um circuito misto.

Tanto no experimento presencial convencional, quanto no experimento controlado remotamente, os conceitos científicos abordados são: corrente

elétrica, diferença de potencial, resistência elétrica, potência elétrica dissipada e circuitos elétricos em série, em paralelo e misto. Pela intensidade do brilho das lâmpadas, nas diferentes configurações de circuito, é esperado que os alunos possam fazer uma análise qualitativa da potência elétrica dissipada. Porém, o uso de um multímetro, que pode funcionar como voltímetro e como amperímetro, pode permitir a leitura de corrente elétrica e de tensão nos diferentes pontos dos circuitos montados.

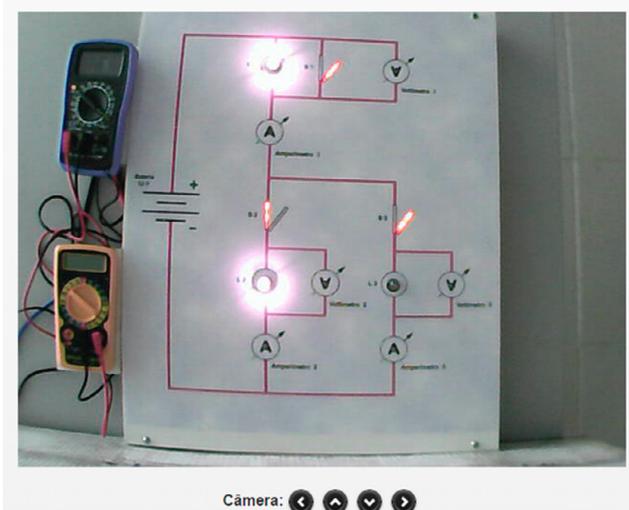


Figura 10. Experimento remoto montado em série.
Fonte: Elaboração do autor.

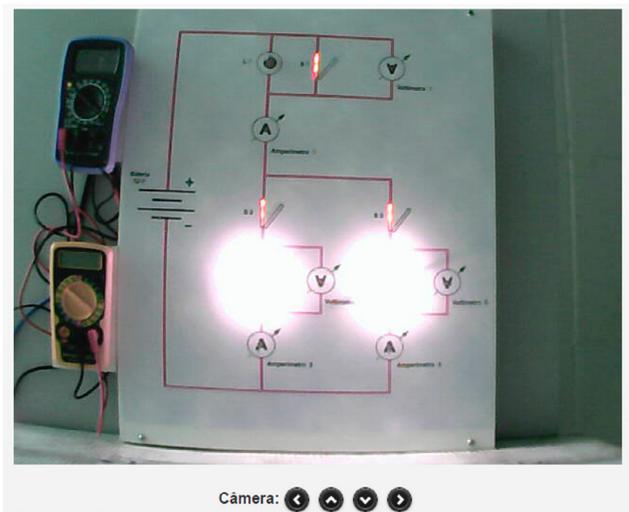


Figura 11. Experimento remoto montado em paralelo.
Fonte: Elaboração do autor.

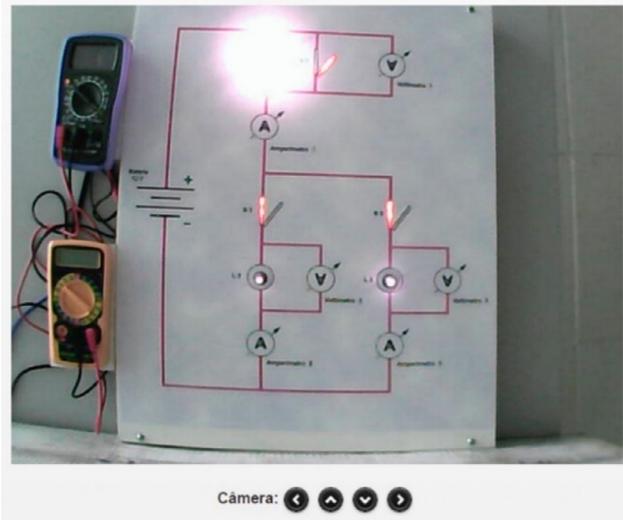


Figura 12. Experimento remoto com circuito misto.

Fonte: Elaboração do autor.

c. Metodologia de análise dos dados

O estudo quantitativo do impacto sobre a aprendizagem dos alunos, considerando a utilização de atividades experimentais e, em especial, aquelas que podem ser realizadas de forma remota, levou-nos a considerar dois momentos de validação de hipóteses: a primeira relativa à importância significativa da experimentação no processo de ensino e de aprendizagem de conceitos científicos; a segunda, relativa à possibilidade de o experimento controlado remotamente constituir uma alternativa para as escolas, professores e alunos que não dispõem de recursos para realizar tais atividades em suas escolas. Para tanto, utilizamos do método de aplicação de pré e pós-testes para avaliar a existências de ganhos de aprendizagem com a utilização das atividades experimentais presenciais e controladas remotamente. Para LINDENAU, GUIMARAES (2012), num teste estatístico, realizado para avaliar o quanto um procedimento foi melhor do que outro, é importante calcular o tamanho desse efeito em relação à relevância estatística. Os autores afirmam que, atualmente, tem sido cada vez mais utilizado e, em algumas publicações exigidas, que o tamanho do efeito seja determinado.

Dessa forma, pensando em situações de ensino e de aprendizagem, a conclusão dos autores enfatiza o fato de não bastar para validação estatística do método de ensino que, num teste estatístico, mostremos que o desempenho de alunos a partir de uma abordagem de ensino inovadora tenha sido maior do que em situações em que abordagens tradicionais foram utilizadas em sala de aula. Segundo LINDENAU, GUIMARAES (2012), é fundamental saber o quanto esse desempenho foi maior para, só então, utilizar os resultados estatísticos para validar o novo método de ensino. Os autores afirmam que, diante de quarenta diferentes modos para a determinação do tamanho de efeitos, um que se mostrou bem adequado para avaliar a diferença de efeito entre duas condições específicas foi o método D - Cohen (1977). Outro parâmetro utilizado para mensurar a diferença de efeito ou o ganho alcançado é o fator de g de GERY (1972). Para se calcular o fator d de Cohen, podemos utilizar a seguinte expressão:

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}}$$

Onde:

- \bar{x}_1, \bar{x}_2 – são as médias do grupo experimental e do grupo de controle, respectivamente;
- n_1, n_2 – são os tamanhos amostrais dos grupos analisados;
- s_1^2, s_2^2 – são as variâncias amostrais dos grupos analisados.

Do ponto de vista de COHEN (1977), o valor de d pode ser interpretado da forma como indicada na tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos valores de D-Cohen

Classificação	Valores
Efeito Pequeno	0,00 < d < 0,20
Efeito Médio	0,20 < d < 0,80
Efeito Grande	d > 0,80

Valores de D-Cohen. **Fonte:** COHEN (1977).

Para o cálculo do fator g de Gery, utilizamos a seguinte expressão:

$$\langle g \rangle = \frac{\bar{x}_{pós-teste} - \bar{x}_{pre-teste}}{N_{máxima} - \bar{x}_{pós-teste}}$$

Onde:

$\bar{x}_{pós-teste}$ — média do pós-teste;

$\bar{x}_{pre-teste}$ — média do pré-teste;

$N_{máxima}$ — nota máxima

Do ponto de vista de GERY (1972), o valor de g pode ser interpretado como indicado na tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos valores de G-Gery

Classificação	Valores
Ganho Baixo	0,00 < g < 0,30
Ganho Médio	0,30 < g < 0,70
Ganho Alto	g > 0,70

A seguir, apresentamos as nossas análises, com o uso desse método descrito anteriormente.

4. Resultados

Na figura 13 são apresentados os dados das turmas 3A e 3B, no pré-teste e no pós-teste, para cada uma das cinco escolas. Nessa figura, há tabelas contendo as seguintes informações: ganho médio, média do pré, média do pós e D- Cohen. Logo acima de cada tabela, aparece o gráfico que mostra no eixo horizontal o número do aluno, variando em uma faixa de 0 a 35. E, no eixo vertical está indicada a média, com valores de 0 a 10. A linha do gráfico representada pela cor azul indica os dados do pré-teste, sendo a de cor laranja a indicação do pós-teste. Analisando os resultados relativos ao desempenho dos alunos dos terceiros anos, podemos notar um melhor desempenho dos estudantes que realizaram as atividades controladas remotamente. Nesse caso, não somente o D-Cohen indica esse aspecto, como também o G de Gery.



Figura 13a. Gráficos do desempenho dos alunos dos terceiros anos A e B das escolas 1, 2 e 3. **Fonte:** Elaboração do autor.

Figura 13b. Gráficos do desempenho dos alunos dos terceiros anos A e B das escolas 4 e 5. **Fonte:** Elaboração do autor.

Chamou-nos a atenção o pequeno efeito das atividades nas turmas A e B da escola 1. Pelos gráficos, podemos notar que o desempenho no pós-teste foi superior ao desempenho no pré-teste; contudo, quando calculado o tamanho do efeito promovido, tal desempenho é considerado fraco no critério D-Cohen e médio no critério de Gery.

Em relação às demais turmas, os efeitos podem ser considerados médios e fortes, caracterizando a efetividade das atividades experimentais para o processo de ensino e de aprendizagem.

O desempenho superior dos alunos após a realização da atividade experimental não se deve ao fato de que ela em si tenha ensinado mais e com melhor qualidade. Isso se deveu às múltiplas e ricas situações de ensino proporcionadas ao processo de ensino e de aprendizagem, tais como: tornar evidente aquilo que os alunos pensam sobre o mundo à sua volta, possibilitar a criação e a reformulação de modelos e esquemas mentais, a manipulação direta que permite o levantamento, o teste de hipóteses e o consequente estabelecimento de relação de causa e efeito relativo ao fenômeno observado, a interação social efetiva entre alunos e o professor, facilitando o processo de aculturação dos estudantes, o debate e a criação de modelos explicativos e argumentativos, sem falar na motivação que proporcionou.

Destaca-se o fato de que os estudantes, alvo desse estudo, não se submeteram, passivamente, apenas às aulas expositivas sobre o tema a ser apreendido. É importante lembrar que desde o início os alunos foram motivados a pesquisar textos, a assistir vídeos-aulas, a debater, a elaborar sínteses e a realizar apresentações sobre o assunto científico a ser estudado. Adotaram, portanto, desde o início, uma postura ativa e interativa que, evidentemente, contribuiu para a melhoria do aprendizado mesmo antes da realização da atividade experimental.

Provavelmente, se tivéssemos aplicado o pré-teste após situações de aprendizagem muito comuns em nossas escolas, limitadas unicamente à exposição do professor, o resultado do tamanho do efeito indicado tanto pelo D-Cohen quanto pelo G-Gery após a realização experimental seria bem maior.

A pequena vantagem observada em direção às atividades controladas remotamente, talvez, possa ser explicada pelo fator motivação desencadeado nos estudantes. O fator inovação, nesse caso, chamou a atenção dos alunos. Além de não estarem acostumados a adotar um papel mais ativo no processo de ensino e de aprendizagem, os estudantes ficaram bastante interessados e intrigados com o fato de realizarem uma atividade experimental comandando um aparato a distância. Em situações cotidianas, a partir das quais a atividade controlada remotamente passe a ser uma prática pedagógica comum no contexto de sala de aula, acreditamos que a diferença motivacional causada pelos dois tipos de atividade experimental deva deixar de existir.

De qualquer maneira, do ponto de vista conceitual, podemos admitir, pelos resultados obtidos, que a atividade experimental realizada remotamente ofereceu as mesmas oportunidades aos alunos de aprendizado tanto quanto às atividades experimentais realizadas presencialmente.

5. Considerações finais

Nosso estudo teve como objetivo investigar se experimentos controlados remotamente poderiam contribuir para o ensino de conceitos científicos em física, especialmente em cenários em que não era possível realizar experimentos presenciais convencionais. A análise comparativa que realizamos entre os dois métodos de experimentação evidenciou que o trabalho experimental, independentemente de ser remoto ou presencial, se mostrou útil para a compreensão de conceitos científicos por demais abstratos, como é o caso daqueles relacionados à eletricidade e circuitos elétricos. A abordagem experimental, tanto presencial quanto remota, buscou superar essas dificuldades, incentivando os alunos a explorarem e compreenderem esses conceitos por meio de atividades práticas. Isso ficou patente nos resultados obtidos após a aplicação das atividades experimentais, tanto presenciais quanto remotas, que indicam melhorias significativas no desempenho dos alunos em testes posteriores. Os dados revelaram

que os estudantes que participaram das atividades experimentais demonstraram um aumento no conhecimento e compreensão dos conceitos abordados. A análise das pontuações e do tamanho do efeito (D-Cohen e G-Gery) mostraram que, em média, os alunos que realizaram os experimentos controlados remotamente tiveram um desempenho levemente superior aos que participaram dos experimentos presenciais convencionais. Essa diferença pode ser atribuída, em parte, à motivação extra proporcionada pela novidade da abordagem remota.

A natureza inovadora dos experimentos controlados remotamente parece ter motivado os alunos a terem envolvimento mais ativo no processo de aprendizado. Essa motivação pode ter contribuído para o desempenho um pouco superior observado nesse grupo. É importante ressaltar que os alunos foram envolvidos desde o início do estudo, pesquisando, debatendo e apresentando sobre o tema antes da realização dos experimentos. Isso sugere que essa abordagem prévia também pode ter contribuído para a melhoria do aprendizado e para a diferença relativamente pequena entre os métodos de experimentação.

Apesar da diferença de desempenho observada, o estudo sugere que, em termos conceituais, a abordagem experimental remota oferece as mesmas oportunidades de aprendizado que os experimentos presenciais convencionais. A tendência é que, com a integração gradual da abordagem remota no ambiente educacional, a diferença motivacional diminua. De maneira geral, o estudo enfatiza a importância da experimentação no processo de ensino e aprendizado de conceitos científicos. As atividades experimentais, tanto presenciais quanto remotas, oferecem aos alunos uma oportunidade prática para explorar, testar hipóteses, interagir com os conceitos e aprimorar a compreensão dos fenômenos abordados. Contudo, é importante destacar, que a introdução de métodos inovadores, como a atividade experimental remota, pode ser um fator motivador e estimulante para os alunos. A possibilidade de interagir com o conteúdo de forma diferente pode aumentar o interesse e a participação dos estudantes no processo educacional.

Portanto, com base na pesquisa realizada, pode-se concluir que o desenvolvimento de experimentos controlados remotamente tem o potencial de ser uma alternativa eficaz para a realização de experimentos presenciais convencionais, oferecendo oportunidades de aprendizado comparáveis e, em alguns casos, motivacionalmente enriquecidas. Essa abordagem inovadora pode contribuir para a superação de dificuldades de aprendizado, especialmente em tópicos complexos da física, e pode ser uma ferramenta valiosa para escolas, professores e alunos que enfrentam limitações de recursos para atividades experimentais convencionais.

6. Referências

- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Porto Alegre, v. 25, n. 2, pp. 176-194. 2003. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000200007>
- BARBOSA, J. O. et al. Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no Ensino Médio. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 105-122, 1999.
- BISCHOFF, A.; RÖHRIG, C. Remote experimentation in a collaborative virtual environment. In: *Proceedings of the 20th World Conference on Open Learning and Distance Education*, 2001.
- BORGES, A. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, SC, v. 19, n. 3, pp. 291-313, 2002.
- CANI, J. B. Letramento digital de professores de Língua Portuguesa: cenários e possibilidades de ensino e de aprendizagem com o uso das TDIC. 2019. 216f. Tese (Doutorado em Estudos Linguísticos) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.
- CARDOSO, D. C.; TAKAHASHI, E. K. Experimentação remota em atividades de ensino formal: um estudo a partir de periódicos Qualis A: *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Rio de Janeiro, RJ, v. 11, n. 3, pp. 185-208, 2011.

- CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. Formação de professores de ciências. 7. ed. Cortez. São Paulo: Brasil. 2003.
- CASINI, M.; PRATTICHIZZO, D.; VICINO, A. E-Learning by Remote Laboratories: a new tool for control education. In: Advances in Control Education 2003 (ACE 2003): A Proceedings Volume from the 6th IFAC Symposium, Oulu, Finland, Elsevier, 2003.
- COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences (rev. ed.). Academic Press. New York: USA, pp. 357-410, 1977.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de ciências: fundamentos e métodos. Cortez. São Paulo: Brasil. 2002.
- DORMIDO, B. S. Control learning: present and future. Annual Reviews in Control, Barcelona, Spain, v. 28, n. 1, pp. 115-136. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2003.12.002>
- GAMA JÚNIOR, R. C. A indissociação da eletricidade e do magnetismo por meio da integração entre atividades experimentais e computacionais. 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2018.
- GARCÍA-ZUBÍA, J. Laboratorio WebLab aplicado a la Lógica Programable: WebLab PLD. VITecnologías Aplicadas aa Enseñanza de Electrónica. TAAE 2004.
- GERY, F. W. Does mathematics matter? Research papers in economic education, pp. 142-157, 1972.
- GIROTTI JUNIOR, G.; CACHICHI, R. C.; GALEMBECK, E.; VAZQUEZ, P. A. M. Analysis of undergraduate students' and teaching professional's perceptions about practical activities involving remote laboratory. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, Bogotá, v. 17, n. 2, pp. 300-316, 2022. <https://doi.org/10.14483/23464712.17860>
- HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, v. 12, n. 3, pp. 299-313, 1994. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4417>
- INEP. Divulgação dos Resultados 2020 Ministério da Educação Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. [s. l. s. n.]. Disponível em: https://download.inep.gov.br/censo_escolar/resultados/2020/apresentacao_coletiva.pdf. Acesso em: 25 AGO. 2022.
- JOHNSTON, W.; AGARWAL, D. The virtual laboratory: Using networks to enable widely distributed collaborative science. In: A NSF Workshop Virtual Laboratory whitepaper. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1995.
- LINDENAU, J. D.; GUIMARÃES, L. S. P. Calculando o tamanho de efeito no SPSS. Revista HCPA, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 3, n. 32, 2012.
- LOPES, S. P. M. L. Laboratório de Acesso Remoto em Física. Tese de Doutorado. 147f. Universidade de Coimbra, 2007.
- MARTINS, R. X. A covid-19 e o fim da educação a distância: um ensaio. Rede: Revista de Educação a Distância, XXXX, v. 7, n. 1, pp. 242-256. 2020. <https://doi.org/10.53628/emrede.v7.1.620>
- MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. DE F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 24, n. 2, pp. 77-86, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172002000200002>
- MONTEIRO, M.A.A. Um estudo das contribuições para o processo de Ensino e de Aprendizagem de conceitos de Física a partir de experimentos controlados remotamente. Tese de Livre-docência - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. 2017.
- MONTEIRO, M. A. A. et al. Protótipo de uma atividade experimental para o estudo da cinemática realizada remotamente. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, v. 30, n. 1, pp. 191-208. 2013. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n1p191>
- MORO, F. T. Atividades experimentais e imulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. 156 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p987>
- MOURA, W. C. Propostas de ensino de Física em óptica geométrica usando uma simulação do PHET e óptica física através de experimentos. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

- NOZELA, C. DE F. V. Do positivo ao negativo: utilizando ferramentas computacionais e experimentação para a simulação de (meta)materiais refrativos. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
- OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente/Contributions and approaches of the experimental activities in the science teaching: Gathering elements for the educational practice. *Acta Scientiae Canoas/RS*, v. 12, n. 1, pp. 139-153, 2010.
- PEDROSO, L. S. Articulação entre laboratório investigativo e virtual visando a aprendizagem significativa de conceitos de eletromagnetismo. 225 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2014.
- PINHO A. F. J. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC*, v. 17, n. 2, pp. 174-188, 2000.
- SÉRE, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC* v.20, n.1, pp.30-42, 2003.
- SILVA, A.; EGAS, V. S. Percepção da importância do uso de atividades experimentais na aprendizagem de química de um grupo de estudantes concluintes do ensino médio em uma escola pública em Tefé/AM. *Revista Insignare Scientia - RIS, Cerro Largo, RS*, v. 5, n. 1, pp. 209-234, 2022. <https://doi.org/10.36661/2595-4520.2022v5n1.12155>
- SILVEIRA, W.; BEDIN, E. Aprender pela pesquisa centrada no aluno: um movimento para desenvolver os conteúdos atitudinais, procedimentais e conceituais. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática, Passo Fundo, RS*, v. 5, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v5i1.12643>

