



SISTEMAS EXPERIMENTAIS À DISTÂNCIA: ANÁLISE DE PROPOSTAS PARA O ENSINO DE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA TEORIA CRÍTICA DA TECNOLOGIA

REMOTE EXPERIMENTAL SYSTEMS: AN ANALYSIS OF PROPOSALS FOR PHYSICS EDUCATION FROM THE PERSPECTIVE OF CRITICAL THEORY OF TECHNOLOGY

Cintia Torres Lemes Galvão

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
profacintiatorres.fisica@gmail.com

André Ary Leonel

Doutor em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Professor Adjunto do Centro de Ciências da Educação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
andre.leonel@ufsc.br

Resumo

A Teoria Crítica da Tecnologia nos instiga a ir além de uma visão salvacionista da tecnologia, para pensar: por quem, para quem e com qual intenção esses artefatos estão sendo inseridos na escola. Nesse contexto, considerando o papel que as Atividades Experimentais (AE) têm no ensino de Física, foram analisados os trabalhos que versam sobre sistemas experimentais à distância no Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) nos últimos dez anos, contemplando as edições de 2015, 2017, 2019, 2021 e 2023 que tinham atas e anais publicados até o momento em que esta pesquisa foi realizada. Sob a ótica dos sete questionamentos feitos pelo teórico das mídias Neil Postman (1997) e reconsiderados por Selwyn (2017b), identificamos que os trabalhos analisados sobre sistemas experimentais à distância tratam, majoritariamente, de recursos *open source* e apresentam natureza diferente dos sistemas experimentais reais, exigindo formação e adaptação aos diferentes contextos escolares. A partir da análise foram identificadas maneiras para explorar as possibilidades desses recursos, com potencial de democratizar a ciência e favorecer práticas pedagógicas mais emancipadoras e equitativas no ensino de Física.

Palavras-chave: Teoria Crítica da Tecnologia; Ensino de Física; Simulações; Laboratórios Remotos; Softwares.

Abstract

Critical Theory of Technology urges us to go beyond a salvationist view of technology so as to reflect on by whom, for whom, and with what intention these artifacts are being introduced into the school. In this context, considering the role that Experimental Activities (EAs) play in physics education, the studies dealing with remote experimental systems presented at the National Symposium on Physics Education (SNEF) over the last ten years were analyzed, covering the 2015, 2017, 2019, 2021, and 2023 editions whose proceedings and annals had been published by the time this research was carried out. From the perspective of the seven questions raised by media theorist Neil Postman (1997) and reconsidered by Selwyn (2017b), we identified that the studies analyzed on remote experimental systems deal, predominantly, with open-source resources and present a nature different from that of real experimental systems, requiring training and adaptation to different school contexts. Based on the analysis, ways of exploring the possibilities of these resources were identified, with the potential to democratize science and foster more emancipatory and equitable pedagogical practices in physics education.

Keywords: Critical Theory of Technology; Physics Education; Simulations; Remote Laboratories; Softwares.

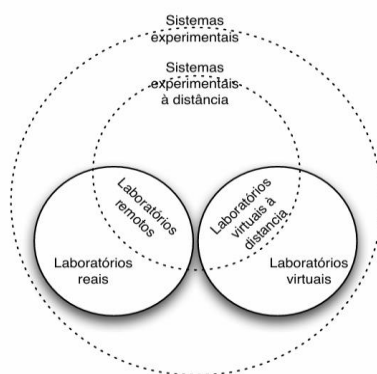
1 INTRODUÇÃO

Apesar de, tradicionalmente, o ensino de Física ser voltado para o acúmulo de informações e o desenvolvimento de habilidades estritamente operacionais, no qual o formalismo matemático e outros modos simbólicos carecem de contextualização, desde o século XIX, as aulas práticas experimentais fazem parte do planejamento da escola média e assumem diferentes papéis ao longo da história. Essas práticas aparecem ora como coadjuvantes, ora como protagonistas, mas sempre defendidas como maneira de amenizar as dificuldades e proporcionar um ensino mais consistente e significativo para os estudantes (Araújo; Abib, 2003).

Com o desenvolvimento da eletrônica surgem outras maneiras de investigar os fenômenos físicos, possibilitando, por exemplo, maior tempo para interpretação dos dados, acesso a situações difíceis ou inviáveis na prática, repetição do experimento e, conseqüentemente, a possibilidade de questionar os limites de validade dos modelos físicos e dos fatores e parâmetros envolvidos nos fenômenos, entre outras condições que podem auxiliar no desenvolvimento de habilidades importantes para a formação científica, tecnológica e cidadã dos estudantes (Alves Filho, 2000; Araújo; Abib, 2003).

Nesse contexto, sobre essas novas maneiras de investigar os fenômenos físicos, temos os chamados sistemas experimentais à distância, que são sistemas que necessitam de tecnologia computacional para seu funcionamento (Leitão, 2006). Em sua pesquisa, Leitão (2006) define que os **sistemas experimentais à distância** podem ser representados pelos **laboratórios remotos**, que são experimentos reais mediados por uma interface virtual nos quais o utilizador consegue recolher dados e/ou enviar instruções em tempo real; ou pelos **laboratórios virtuais à distância**, que podem ser subdivididos em simulações, animações ou jogos virtuais, sendo caracterizados por serem baseados, muitas vezes, em modelos matemáticos que oferecem uma resposta à interação do utilizador por meio do computador com o recurso da programação e por não proporcionarem nenhuma interação com elementos reais. Segue uma representação elaborada por Leitão (2006) da divisão entre os sistemas experimentais:

Figura 1 - Possibilidades de Sistemas Experimentais



Fonte: Leitão, 2006, p. 7

Dos sistemas experimentais, os que são à distância têm se tornado uma ferramenta visada no processo de ensino-aprendizagem, pelas possibilidades de enriquecer as dinâmicas educativas e por poder suprir a falta de laboratórios de ciências e recursos experimentais, já que, apesar dos desafios enfrentados na escola - como o sinal de internet não chegar às salas que ficam mais distantes do roteador e/ou a Internet não suportar muitos acessos ao mesmo

tempo (Cetic.br, 2023) -, a possibilidade de acesso à rede tem se tornado mais viabilizada. Segundo a pesquisa sobre o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nas escolas brasileiras, de 2023 (TIC Educação), das escolas conectadas que contavam com acesso à rede na sala, das escolas públicas, a sala de aula foi o espaço escolar que apresentou os maiores patamares de crescimento na presença de acesso à rede, passando de 61% para 82% entre os anos de 2020 e 2023 (Cetic.br, 2023, p. 27).

Pretto e Bonila (2022) relembram que a tecnologia educacional surge como estratégia da pedagogia tecnicista, adotada pelo regime militar (1964-1985) e materializada na Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB – Brasil. Lei nº 5.692, 1971), na qual a ênfase estava nos meios e não nos processos com os quais os princípios, metodologias e finalidades dos processos educativos eram repensados. Assim, além de garantir o acesso à rede de 100% dos espaços escolares, há o desafio de se qualificar o que é feito com esse acesso. Para Selwyn (2011), na educação o foco não deve estar nas ferramentas e aplicativos em si, mas sim nas práticas e atividades que são produzidas por meio delas, pelos significados que criam e pelas relações sociais e estruturais com as quais esses artefatos se articulam. O autor destaca a necessidade de identificar as oportunidades, mas também os limites que as tecnologias impõem, já que estas podem ter consequências inesperadas e não planejadas, pois “[...] mesmo a mais aparentemente “transformatória” (“transformatory”) das tecnologias pode limitar as escolhas e as oportunidades que alguns indivíduos tenham. (Selwyn, 2011, p. 20)”.

Sampaio Junior (2022) ressalta que os artefatos tecnológicos muitas vezes se destacam pela receptividade do meio social e não necessariamente por ter o desenho mais bem-sucedido, mostrando que, no modo de produção capitalista, o desejo de determinados grupos sociais prevalece sobre os desejos e necessidades dos consumidores, civis, pacientes e empregados, ou seja, “[...] o produto se adapta ao arranjo social e não a alguma propriedade do artefato” (p. 789). Nesse contexto, quando inseridos no ambiente escolar, esses artefatos são imbuídos de relações que vão além do que pode ser acessado imediatamente, dispondo, desse modo, de uma “caixa-preta” que é opaca aos usuários e que demonstra uma relação velada entre os programadores (criadores de conteúdo) e os usuários (alunos e professores). Sob uma racionalidade que se ampara na justificação pela eficiência, Cupani (2004) ressalta que a “autonomia operacional” dos administradores (capitalistas e tecnocratas) permite a tomada de decisões independentes que, muitas vezes, não consideram os interesses dos agentes subordinados. Nesse cenário, ao pensar sobre objetos técnicos dentro do fenômeno do *design* na sociedade capitalista, para a Teoria Crítica da Tecnologia, é preciso considerar, a priori, os aspectos sociais, econômicos e ambientais que selecionam alguns produtos em desfavor de outros (Sampaio Junior, 2022).

Para Sampaio Junior (2022), a escolha tecnológica é diferente da escolha técnica, pois nem sempre o melhor *design* é absorvido pelo mercado, visto que a escolha pelos artefatos está, muitas vezes, mais vinculada aos aspectos sociais do que aos aspectos técnicos. Assim, analisando o papel que as Atividades Experimentais (AE) têm no ensino de Física e considerando que, quando mediadas pelas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), elas passam a ser pensadas por pessoas de diferentes áreas do conhecimento, como tecnologistas, engenheiros ou pessoas com interesse em desenvolver tecnologias voltadas para a educação, passamos a questionar **que recursos** são esses, **por quem** são produzidos e com **qual intencionalidade** estão sendo propostos e inseridos no contexto educacional. Para isso, é pertinente analisar as propostas de sistemas experimentais à distância direcionadas ao processo de ensino-aprendizagem de Física sob a ótica da Teoria Crítica da Tecnologia.

2 TEORIA CRÍTICA DAS TECNOLOGIAS: ALGUNS APONTAMENTOS

Os debates sobre educação e tecnologia geralmente são enquadrados em termos demasiadamente simplistas e reforçados pelo desejo que os educadores têm de melhorar a educação a qualquer custo e por qualquer meio, fazendo com que as discussões sejam imprecisas e reacionárias (Selwyn, 2017a). Selwyn (2017a) destaca que é preciso desafiar visões dominantes nessa área e compreender que ela não se reduz simplesmente às proposições de melhoria e eficácia das práticas pedagógicas, mas que é preciso ter informações sobre quais são os reais benefícios que a tecnologia pode ou não proporcionar.

Para Selwyn (2017b), as tecnologias digitais têm definido a maior parte das formas de educação na contemporaneidade, estando presentes nos artefatos, plataformas e aplicativos digitais, contudo, têm sido lamentavelmente frágeis, sendo apresentadas com pouca reflexão e desesperadamente otimistas ou distópicas. Para o autor, é preciso investigar seriamente o uso das tecnologias na educação, fazendo análises detalhadas e ricas em contextos que assumam um posicionamento inerentemente cético e reconhecendo a natureza política da área para considerar questões de poder, controle, conflito e resistência envolvidas quando usadas em contextos educacionais.

Nesse contexto, baseado em sete questionamentos feitos pelo teórico das mídias Neil Postman em 1997, Selwyn (2017b) faz algumas considerações sobre as discussões de educação e tecnologias aplicadas ao século XXI que podem nos ajudar a analisar a inserção dos sistemas experimentais à distância no processo de ensino-aprendizagem da Física:

- ***Sobre para qual problema a tecnologia se afirma como solução*** destaca a necessidade de questionar suposições ingênuas da sua inserção, rompendo com a premissa essencialmente positiva de que, de alguma forma, irá melhorar sistemas e consertar problemas profundamente enraizados na educação;

- ***Sobre de quem é o problema*** ressalta que ideias e premissas sobre o uso da tecnologia na educação são respostas de muitos e influentes grupos de interesse que desenvolvem e promovem o recurso, ou seja, são ferramentas para conduzir disputas de poder e, mesmo que sejam grupos bem intencionados, são grupos motivados a impor seus próprios interesses e pautas;

- ***Sobre que novos problemas serão criados com a resolução do problema velho*** o autor apresenta a necessidade de considerar os limites e restrições que a tecnologia na educação impõe, bem como as oportunidades que pode oferecer, pois a mudança tecnológica é um processo complexo e “qualquer” “solução” técnica na educação é quase sempre acompanhada de um número de consequências não intencionais, efeitos secundários e redirecionamentos a longo prazo.” (p. 95).

- ***Sobre que pessoas e instituições serão mais prejudicadas pela nova tecnologia***, Selwyn (2017b) nos lembra que, quando falamos de tecnologia digital, nos referimos a atividades e práticas que pessoas em diferentes contextos sociais conduzem em conjunto com a tecnologia, e não às tecnologias em si, ou seja, é preciso atentar-se aos sentimentos e emoções das pessoas, seus (des)prazeres e (in)sensibilidades quando se deparam com as tecnologias digitais em seus cotidianos, incluindo, inclusive a necessidade de problematizar questões institucionais que terão influência e serão influenciadas pelo uso das tecnologias como estrutura organizacional das escolas e universidades, influências contextuais mais amplas relacionadas à

classe social, raça, etnia e gênero; e valores locais, culturas e ideias que se chocam com aquelas da escola.

• ***Sobre as mudanças de linguagem que estão sendo promovidas por essas novas tecnologias*** é apresentada a necessidade de examinar minuciosamente as formas como a linguagem perpassa as descrições de educação e tecnologia, gerando rótulos que implicam significados que podem não ser alcançados, como por exemplo quando se usa o termo “tecnologia de aprendizagem”, ignorando a possibilidade da tecnologia não conduzir à aprendizagem ou deixando de lado a possibilidade de gerar outros ganhos educacionais.

• ***Sobre os redirecionamentos de poder econômico e político que podem resultar dessa nova tecnologia*** o autor apresenta que as tecnologias estão sendo usadas como justificativa para reestruturar, reformar e reorientar a natureza, forma e valores da educação pública na tentativa de “consertar” os nossos sistemas escolares e universitários pretensamente “quebrados” com soluções de “personalização”, aprendizagem com base em jogos, “salas de aula invertidas”, “cultura do construtor”, “habilidades do século XXI”, entre outros discursos que podem até ser benéficos, mas que muitas vezes foram apropriados e reapropriados por grupos de interesse político e econômico que divergem das intenções e afirmações dos *designers*, tratando-se de questões que demandam maior reconhecimento, debate e escrutínio de observadores e comentaristas críticos.

• ***Sobre os usos alternativos que podem ser feitos da tecnologia*** é apresentada a necessidade de levantar questões críticas como um meio de destacar e sugerir formas de abordar contradições e conflitos que circundam o uso da tecnologia na educação e desenvolver sugestões culturalmente plausíveis de como se opor às desigualdades e hegemonias correntes, e como o processo educacional pode ser refeito em linhas mais justas e equitativas, permitindo identificar uma abordagem que permita novas possibilidades e estratégias para o âmbito da relação entre educação e tecnologia.

Assim, considerando nosso objeto de estudo - que são os sistemas experimentais à distância -, buscaremos fazer o que Selwyn (2017a) sugere como trabalho do teórico crítico que é: “[...] enfatizar as contradições internas entre o que se defende e o que está sendo feito em termos reais.” (p. 24) para apontar alternativas que podem nos aproximar de uma mudança social emancipatória. Para isso, usaremos esses questionamentos como linha norteadora da análise para identificar elementos que podem indicar a intencionalidade com a qual esses recursos estão adentrando o espaço escolar.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de analisar as propostas de sistemas experimentais à distância sob a ótica da Teoria Crítica da Tecnologia, o presente trabalho investigou quais são essas atividades, por quem são produzidas e qual a intencionalidade dos desenvolvedores e propositores dos recursos quando sugerem a sua inserção no processo de ensino-aprendizagem de Física. Para isso, nos propomos a analisar as atas e os anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) nos últimos dez anos, visto que esse é um dos principais eventos da área com foco em reunir estudantes, professores e pesquisadores da área de ensino de Física para discutir propostas educacionais, podendo fornecer informações relevantes sobre como esses recursos estão sendo explorados no processo de ensino-aprendizagem de Física.

Para identificar os trabalhos que tratam de sistemas experimentais à distância, optou-se pela leitura do título, resumo - quando tinha - e palavras-chave da área temática “Tecnologia da Informação e Comunicação no Ensino de Física” e, quando necessário, pela leitura flutuante do trabalho completo. Cabe reforçar que se considerou a classificação de Leitão (2006), na qual sistemas experimentais à distância são caracterizados por necessitar de uma interface computacional, acessados por computador, *tablets* ou *smartphones* para interagir com o recurso experimental e por não proporcionar nenhuma interação direta com elementos reais.

O SNEF é um evento bienal, realizado desde 1970, e para este trabalho foi realizado um recorte dos últimos dez anos de evento. Desse modo, pretendíamos incluir nesta revisão os eventos de 2015, 2017, 2019, 2021, 2023 e 2025, no entanto, quando procurados, descobrimos que os anais da edição de 2019 não foram publicados e os do evento de 2025 ainda não estão disponíveis. Contudo, no site do evento de 2019 é possível encontrar na programação os trabalhos apresentados na área temática “Tecnologia da Informação e Comunicação no Ensino de Física” e desse modo, de forma mais manual, este evento também foi incluído na análise. Assim, aqui apresentaremos os resultados dos eventos de 2015, 2017, 2019, 2021 e 2023.

Com a intenção de identificar **que recursos são, por quem são produzidos** e com **qual intencionalidade** são propostos, dos eventos selecionados, a princípio 74 trabalhos foram identificados como propostas de sistemas experimentais à distância voltados para o ensino de Física, de acordo com a definição de Leitão (2006), sendo utilizado como critério de inclusão o recurso tecnológico como foco de discussão do trabalho e como critério de exclusão trabalhos de revisão bibliográfica e propostas de intervenções pedagógicas nas quais os sistemas experimentais à distância eram apenas um dos recursos e não o foco de discussão do trabalho, não oferecendo uma análise sobre o artefato que pudesse contribuir de forma mais significativa para essa investigação.

Desse total de 74, ao lê-los por completo e respeitar os critérios de inclusão e exclusão, selecionamos 38 trabalhos e sob uma análise qualitativa, identificaram-se alguns padrões que compõem os agrupamentos definidos *a priori* e *a posteriori* nesta revisão. A análise qualitativa realizada seguiu as cinco fases propostas com Yin (2016), na qual cabe aos pesquisadores *compilar* os dados de forma cuidadosa e metódica; *decompor* os dados de acordo com as premissas iniciais, como quais são as AE mediadas pelas TDIC, quem são os propositores do recurso e quais os elementos que indicam a intencionalidade com que estão sendo propostas e inseridas no contexto educacional; *recompor* esses dados de modo que sejam identificados padrões emergentes; e por fim, *interpretar* e *concluir* a análise de modo que seja desenvolvida uma compreensão abrangente do estudo. Cabe destacar que esse é um ciclo geral que não necessariamente ocorre de maneira linear, podendo acontecer de maneira recursiva e iterativa (Yin, 2016).

Assim, após a leitura completa dos 38 trabalhos, além de identificar **que recursos e por quem** são produzidos, sob a perspectiva da Teoria Crítica da Tecnologia, foi feito o exercício de identificar os questionamentos feitos pelo teórico das mídias Neil Postman em 1997 e reconsiderados por Selwyn (2017b) para o século XXI nos excertos dos trabalhos, para identificar a **intencionalidade** com que os sistemas experimentais à distância estão sendo inseridos no processo de ensino-aprendizagem da Física. Segue um quadro com as suas descrições na ordem que consideramos mais adequada para apresentar os dados:

Quadro 1 - Intencionalidade da inserção dos sistemas experimentais a distância dos trabalhos apresentados no SNEF no período de 2015 a 2023

DISCUSSÕES DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIAS APLICADAS AO SÉCULO XXI PROPOSTAS POR NEIL SELWYN	QUESTÕES CRÍTICAS A SEREM ANALISADAS NOS SISTEMAS EXPERIMENTAIS À DISTÂNCIA
<i>Sobre de quem é o problema</i>	Ao identificar que recursos são e quem os propõe, refletimos sobre a intencionalidade desses grupos que, mesmo que bem intencionados, estão propagando seus interesses e pautas.
<i>Sobre para qual problema a tecnologia se afirma como solução</i>	Visão ingênua de que as condições para uso material dos sistemas experimentais à distância são mais acessíveis que os experimentos reais.
<i>Sobre que pessoas e instituições serão mais prejudicadas pela nova tecnologia</i>	Pensar sobre os contextos de inserção dessas atividades e os sentimentos e emoções que geram em relação ao seu cotidiano.
<i>Sobre os redirecionamentos de poder econômico e político que podem resultar dessa nova tecnologia</i>	Questionar as afirmações de que os sistemas experimentais à distância oferecem benefícios que podem reestruturar, reformar e reorientar a natureza, forma e valores da educação pública.
<i>Sobre que novos problemas serão criados com a resolução do problema velho</i>	Considerar que os sistemas experimentais à distância são diferentes, logo, geram problemas e oportunidades, que têm outra natureza, mas que precisam ser considerados ao se pensar no seu uso.
<i>Sobre as mudanças de linguagem que estão sendo promovidas por essas novas tecnologias</i>	Questionar a visão ingênua de que, por serem mediados pelas TDIC, os sistemas experimentais à distância sempre vão gerar “aprendizagem” ou “motivar” os estudantes, desconsiderando a complexidade do processo.
<i>Sobre os usos alternativos que podem ser feitos da tecnologia</i>	Quando consideram questões culturalmente plausíveis de como se opor às desigualdades e hegemonias correntes, e propõem os sistemas experimentais à distância no processo educacional em linhas mais justas e equitativas.

Fonte: autoria própria

Assim, a partir dessas questões, apresenta-se uma proposta para analisar a inserção dos sistemas experimentais à distância no ensino de Física sob a ótica da Teoria Crítica da Tecnologia. Ressalta-se que, na próxima seção, essas questões estão em negrito e itálico ao longo do texto de análise para serem identificadas com mais facilidade pelo leitor.

Para melhor organizar a análise e a identificação dos trabalhos, estes serão codificados pela letra T, acompanhados do ano da edição do evento e de um número que corresponde à

ordem de localização do trabalho. Assim, o código T2015-01 corresponde ao primeiro trabalho localizado na edição do SNEF de 2015. O quadro 01 do apêndice¹ apresenta essa organização com todos os trabalhos que compõem a amostra desta investigação.

4 A INSERÇÃO DOS SISTEMAS EXPERIMENTAIS À DISTÂNCIA NO ENSINO DE FÍSICA SOB A ÓTICA DA TEORIA CRÍTICA DA TECNOLOGIA

Dos 38 trabalhos com propostas de sistemas experimentais à distância segundo os critérios de inclusão descritos na metodologia, 6 se enquadram na classificação de laboratórios remotos, ou seja, são experimentos reais que são automatizados e acessados por uma interface virtual no qual o utilizador consegue recolher dados e/ou enviar instruções em tempo real; os outros 32 trabalhos podem ser classificados como laboratórios virtuais à distância, nos quais aparecem simulações, animações e jogos.

Das propostas de laboratórios remotos, todos os experimentos foram desenvolvidos por instituições federais com instrumentos *open source*. Desses, T2015-01, T2015-02 e T2019-06 fazem uso do Arduino para automatizar os experimentos, sendo esta uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto e com valor considerado acessível pelo mercado, considerando que possui bibliotecas prontas que facilitam a programação. Já no trabalho de T2023-03, os circuitos dos experimentos do laboratório remoto do qual emerge a sua discussão são construídos em torno de microcontroladores da família AVR, os mesmos que são empregados nas placas Arduino. É mencionado que

“Normalmente é utilizado o modelo ATmega328P e isso oferece muitas vantagens para o projeto, especialmente pelo fato de ser possível empregar o mesmo ambiente de desenvolvimento do Arduino para realizar a programação do experimento.” (T2023-03, p. 2)

Ou seja, propõem uma maneira de tornar mais acessível o custo de automatização de experimentos sem precisar adquirir a placa de Arduino. No mesmo evento, os autores apresentam mais um trabalho (T2023-06) deste mesmo laboratório no qual discutem a potencialidade de um experimento remoto sobre processos radioativos com base na Base Nacional Comum Curricular – BNCC (Brasil, 2018). Ao pesquisar, percebe-se que essa mesma universidade está desenvolvendo diferentes experimentos controlados remotamente desde 2012, ou seja, nesta revisão podemos deduzir que está havendo um esforço de tornar os experimentos mais acessíveis e possíveis de serem reproduzidos por outras instituições, pois o trabalho T2015-02 menciona que usa a plataforma Arduino; já em T2023-03, é utilizado um microcontrolador mais acessível para a construção dos experimentos.

O sexto trabalho que se enquadra na classificação dos laboratórios remotos apresenta uma proposta de uma interface amigável em português para que estudantes em qualquer nível possam coletar dados e realizar estudos sobre brilho, cor e tamanho dos astros em um observatório astronômico da Universidade Federal do Espírito Santo. T2021-09 destaca que a intenção do TeRES (Telescópio Remoto do Espírito Santo) é ser uma interface gratuita, leve e de fácil acesso e utilização para computadores e celulares já que a maioria dos acessos aos telescópios remotos usam aplicativos de compartilhamento da área de trabalho, com programas VNC (Virtual Network Computing), Teamviewer e Anydesk que traz problemas de segurança

¹ Link para acesso ao apêndice e as referências da amostra analisada:
<https://docs.google.com/document/d/1IPdvqUkmSutIkZcNpxuR4Cf771wVOSaLLFLLeuTOKsA4/edit?usp=sharing>

por darem acesso completo ao computador remoto, além de geralmente ser em inglês, não sendo acessíveis aos usuários que não tenham um bom conhecimento de Astronomia e dos aplicativos de controle dos equipamentos.

Da classificação dos laboratórios virtuais à distância, apenas 4 são propostas de recursos de código fechado - *closed source*, já os outros 28 propõem discussões sobre simuladores, animações ou jogos elaborados com linguagens visuais (como Scratch), de programação (Java, JavaScript, C, C++ e C#) ou de marcação (HTML e HTML5) gratuitas e de fácil acesso classificadas como *open source*.

Dos recursos *closed source*, T2015-05 relata o uso do *software* de simulação 3D estereoscópico do Eureka.in, uma empresa de tecnologia educacional indiana; T2021-08 utiliza o *Software* Algodoos para estudo de caso do sistema massa-mola em mecânica; T2023-02 propõe o uso do Flight Simulator (MFS), um simulador de voo da Microsoft para o ensino de princípios fundamentais da física; e T2023-04 faz uso do jogo digital Light Ignite para gamificar o ensino de óptica, um jogo desenvolvido sem fins educacionais pela empresa Branching Factor, no qual permite explorar propriedades físicas da luz como reflexão, refração, dispersão e curvatura em diferentes níveis de dificuldade.

Das propostas *open source*, T2015-04 e T2017-04 discutem o uso de simulações do projeto educacional PhET Interactive Simulation proposto pela Universidade do Colorado, que são simulações gratuitas para o ensino e aprendizado de ciências e matemática feitas em JavaScript com HTML5 que funcionam diretamente no navegador e sem a necessidade de instalação de qualquer *software*. O projeto já teve algumas simulações de Java com Flash, mas estas foram descontinuadas. Apesar do projeto disponibilizar acesso ao código-fonte das simulações e destacar que se beneficia das contribuições de outros projetos de código aberto, a opção PhET Studio, na qual se pode adaptar, modificar e criar simulações, é paga, fazendo-nos questionar o entendimento de seus desenvolvedores sobre *open source*. T2019-03 propõe o uso do aplicativo Ray Optics como estratégia de ensino de óptica; T2015-06 analisa recursos disponibilizados no espaço virtual para apoiar o professor no ensino de Física sem nenhum custo e encontra 5 *softwares*: FísicaLab, Gonvert, Efeito Fotoelétrico, Poços duplos e ligações covalentes e Scope; no entanto o trabalho faz algumas ressalvas quanto ao que é entendido na literatura sobre *softwares* livres, destacando que é aquele em que os usuários podem distribuir e modificar, ou seja, tem um “código-fonte disponível para alterações e melhorias” (T2015-06, p. 3). Desse modo, o trabalho destaca que o Scope não pode ser considerado um *software* livre, pois não dá ao usuário a liberdade de modificar e redistribuir o programa.

T2017-01, T2019-04, T2019-05, T2021-03, T2023-09 e T2023-10 propõem o estudo de fenômenos físicos por meio da programação no Scratch, uma plataforma online e gratuita de programação visual desenvolvida pelo grupo Lifelong Kindergarten do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). T2015-03 faz uso de um aplicativo em linguagem Java (applet) para discussão do movimento balístico; e T2017-07 propõe o uso do jogo A Slower Speed of Light, um jogo gratuito, desenvolvido pelo grupo MIT Game Lab do Instituto de Tecnologia de Massachusetts para demonstrar os efeitos da relatividade especial.

Além das propostas já disponíveis para uso, alguns trabalhos propõem o estudo de fenômenos físicos a partir de simulações desenvolvidas por diferentes linguagens de programação como T2017-05 que desenvolve uma simulação escrita em HTML5 que pode ser executada via internet ou localmente em qualquer computador que possua um navegador moderno para o experimento Interferômetro de Mach-Zehnder; T2023-07 constrói uma simulação computacional para auxiliar o estudo da gravitação universal utilizando o canvas do HTML5 e a linguagem de programação Javascript para manipular os objetos gráficos e fazer

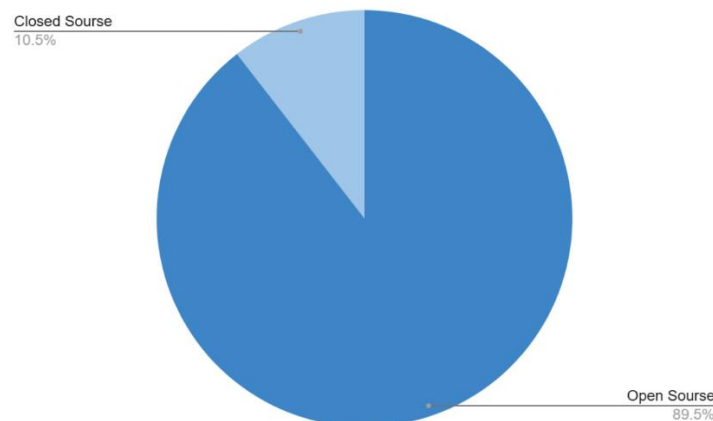
cálculos matemáticos; no trabalho de T2021-01 foi elaborado um código computacional, originalmente escrito na Linguagem C++ que modela analiticamente a trajetória de partículas subatômicas que entram nos limites da Via-Láctea submetidas à ação do campo magnético, mas depois para facilitar o acesso ao controle dos parâmetros utilizados na simulação, foi empregado como interface a Linguagem Java; T2021-07 utiliza a linguagem de programação C para desenvolver um *software* de simulação para estudos de fenômenos da óptica; já T2021-04 e T2021-06 constroem simuladores desenvolvidos a partir da linguagem de programação Python e sua de biblioteca VPython para o estudo de mecânica - T2021-04 desenvolve um oscilador harmônico simples, um oscilador amortecido e um oscilador perpendicular; e T2021-06 um oscilador harmônico simples; T2023-05 discute as potencialidades da biblioteca Vpython como uma ferramenta para o desenvolvimento de simulações computacionais de fenômenos físicos; T2023-01 propõe o estudo de órbitas planetárias utilizando a linguagem de programação Python para analisar a natureza das trajetórias geradas e sua conformidade com as leis físicas; e TS2023-08 constrói uma simulação computacional para descrever o fenômeno da fenda dupla de Young a partir da linguagem de programação Python e da sua extensão VPython.

T2017-06, T2019-01 e T2019-02 trazem discussões sobre o estudo de fenômenos físicos a partir do Modellus, um *software* de código aberto, gratuito, utilizado para modelagem de fenômenos físicos e matemáticos; T2021-05 apresenta simulações desenvolvidas para o ensino-aprendizagem das Leis de Kepler feitas no programa GeoGebra, um *software* muito usado no ensino de matemática.

Ainda fazendo uso de linguagens de programação, T2021-02 constrói um aplicativo *web* para produção gráfica das curvas características da descarga de um capacitor no circuito RC por meio da programação em Python; T2017-03 constrói um aplicativo em linguagem Java para estudo de fenômenos da cinemática; e T2017-02 desenvolvem um aplicativo nomeado por Astron3D por meio da linguagem de programação C# para auxiliar professores e alunos no estudo e compreensão dos sistemas de coordenadas celestes e movimento dos astros a partir de coordenadas geográficas e temporais.

Como se pode observar, dos 38 trabalhos classificados como sistemas experimentais à distância (subdivididos em laboratórios remotos e laboratórios virtuais à distância), apenas 10,5% são recursos de código fechado desenvolvidos por empresas privadas que, mesmo oferecendo a oportunidade de serem acessados em partes de forma gratuita, limitam os usos. Segue um gráfico de representação dessa porcentagem.

Figura 2 - Classificação dos recursos quanto a disponibilidade do código-fonte



Fonte: autoria própria

Considerando que os trabalhos publicados, em sua maioria, são de professores e pesquisadores vinculados a instituições educacionais públicas, é compreensível que haja um esforço de desenvolver e utilizar tecnologias que sejam de código aberto. Contudo, cabe lembrar dos questionamentos de Neil Postman (1997) e das considerações de Selwyn (2017b) de que, ***mesmo que bem intencionados, os grupos que estão desenvolvendo e propondo o uso desses artefatos no processo educacional estão envolvidos por seus interesses e pautas e consequentemente, são ferramentas que conduzem lutas de poder.*** Selwyn (2014) destaca que, mesmo que um artefato tecnológico seja motivado por um conjunto de valores voltados para a melhoria da educação, ele também serve para apoiar e legitimar interesses ideológicos dominantes mais amplos.

Sobre a intencionalidade com que esses recursos estão adentrando o espaço escolar, foi possível observar que os sistemas experimentais à distância são propostos como alternativa aos laboratórios reais e para potencializar o processo de ensino-aprendizagem, mas dentro desses agrupamentos é possível identificar alguns excertos que indicam a necessidade de repensar os discursos com que os sistemas experimentais à distância são propostos e inseridos no processo de ensino-aprendizagem.

Dos trabalhos analisados, T2015-01, T2015-03, T2015-06, T2019-05, T2021-04 e T2023-03 trazem afirmações de que os sistemas experimentais à distância são mais acessíveis que os laboratórios reais de bancada.

A possibilidade de realização de experimentos virtuais rompe a dificuldade de muitas escolas que não possuem laboratórios e permite ao professor discutir temas que seriam trabalhados apenas de forma teórica. (T2015-03, p. 3)

Os materiais utilizados resumem-se a um computador com acesso a internet, pois todos os softwares utilizados na construção dos OAs e acompanhamento dos alunos são livres. (T2021-04, p. 2)

Quando afirmam que rompe com as dificuldades ou “só” precisa-se de um computador com acesso à internet, desconsideram a dimensão e a diversidade dos sistemas educacionais do nosso país. Apesar dos sistemas experimentais à distância serem uma alternativa à falta de laboratórios e equipamentos para estudo de fenômenos físicos é preciso evitar ***uma visão ingênua de que as condições para uso material dos sistemas experimentais à distância são mais acessíveis que os experimentos reais***, pois como aponta a pesquisa TIC Educação de 2023, as escolas ainda enfrentam grandes desafios com relação ao acesso às redes. Os dados mostram que apesar de 87% das escolas contarem com ao menos um espaço com um computador com acesso à internet, era de 57% a porcentagem desses recursos que estavam disponíveis para os estudantes. Selwyn (2017a) destaca que é preciso que as pesquisas reconheçam o papel que a tecnologia exerce em perpetuar as desigualdades, desenvolvendo um trabalho crítico que investigue o grau com que as tecnologias fortalecem e sustentam as estruturas dominantes de produção e poder na educação.

Em nosso contexto de análise, apenas “um” computador com acesso à internet não proporciona a oportunidade de interação com os sistemas experimentais à distância da maneira como almejamos, na qual se recomenda que os estudantes interajam com o recurso e explorem outras dimensões que um experimento real não proporciona. Ou seja, a falta de cuidado com as reais condições estruturais nos leva a refletir sobre uma ilusória condição de melhoria do ensino de Física quando na verdade não basta ter esses recursos disponíveis, é preciso pensar nas circunstâncias nas quais esses recursos serão inseridos. Nessa perspectiva, os trabalhos T2021-01 e T2021-06 refletem que

Atualmente, visando tornar ainda mais acessível o material elaborado, está em desenvolvimento uma interface na forma de um aplicativo Android, podendo ser executado na maioria dos smartphones e tablets existentes. A facilidade de executar simulações diretamente no celular visa contornar um outro obstáculo notadamente presente em muitas escolas brasileiras: a falta de um laboratório de informática operacional. Uma vez que é possível executar o aplicativo diretamente nos dispositivos Android, toda a estratégia de ensino associada pode ser realizada dentro da sala de aula, ou até mesmo na residência dos estudantes, de forma remota. (T2021-04, p. 3)

Outrossim, cabe ressaltar que, em instituições que não possuem um laboratório de Física ou material necessário para a reprodução de experimentos como esse, os simuladores apresentam-se como alternativa viável, desde que haja um laboratório computacional na instituição – o que é mais simples de se encontrar se comparado a um laboratório de Física. (T2021-06, p. 5)

Assim, mesmo apresentando os sistemas experimentais à distância como alternativa, é necessário ***pensar sobre os contextos de inserção dessas atividades e os sentimentos e emoções que geram em relação ao seu cotidiano***, pois Selwyn (2017b) nos lembra que quando falamos de tecnologia digital, não estamos falando dela em si, mas das práticas e atividades que pessoas em diferentes contextos sociais conduzem e são conduzidas por meio delas. Dos nossos dados, 24 trabalhos a saber, T2015-01, T2015-04, T2015-05, T2015-06, T2017-02, T2017-03, T2017-04, T2017-07, T2019-01, T2019-02, T2019-03, T2019-04, T2019-05, T2019-06, T2021-03, T2021-07, T2021-08, T2023-02, T2023-04, T2023-05, T2023-06, T2023-07, T2023-08 e T2023-09 trazem discussões que refletem a importância de pensar as atividades e práticas que pessoas em diferentes contextos sociais estão conduzindo em conjunto com a tecnologia.

[...] as simulações oferecem suporte significativo aos livros didáticos, porém, seguindo a teoria Ausubeliana, revelou também que o tratamento da ciência laboratorial se não for bem planejado poderá ser encarado pelos estudantes como exercícios maçantes e sem significado. (T2015-05, p. 6)

Foi interessante notar que à medida em que os alunos iam mudando os parâmetros, e observando os efeitos da colisão, outros comentários iam sendo feitos por eles, como por exemplo, diminuindo a massa de uma esfera e aumentando a massa da outra, este sistema podia ser comparado a uma “batida” entre um caminhão e um carro menor, ou vice versa, indicando que quando contextualizada, a Física parece ter todo sentido. (T2019-02, p. 7)

Para auxiliar na aplicação desse programa, foi empregada a gamificação, estratégia didática que faz uso de elementos de jogos em situações que não são aquelas que, no geral, apenas motivam os alunos, sem o objetivo principal, que é o de favorecer a apropriação de conceitos científicos. (T2021-03, p. 1)

Desses excertos observamos que os trabalhos enfatizam a necessidade de os sistemas experimentais à distância serem mediados de forma que o seu potencial seja melhor aproveitado nas situações didáticas. Selwyn (2017a) relembra que “[...] as mudanças relacionadas à tecnologia são moldadas pelo contexto - sobretudo, a normalização e rotinização de sistemas digitais em contextos locais.” (p. 29). T2019 destaca que

[...] pode-se afirmar que a utilização inteligente das TIC’s não é uma característica inerente dos computadores em si, mas está inteira e completamente ligada à forma com a qual criamos, planejamos, fundamentamos e executamos o uso dessas máquinas nas atividades educacionais que pretendemos desenvolver. (T2019-05, p. 2)

Assim, é importante questionar que ferramentas são essas e problematizar o seu uso nos nossos contextos escolares, trazendo para discussão alguns pontos como: qual o contexto de formação dos professores e qual a sua concepção do papel que os experimentos, quando mediados pelas TDIC, podem assumir no processo de ensino-aprendizagem? quem são os

sujeitos que estão acessando esses sistemas experimentais à distância? Eles são letrados digitalmente ou possuem um acesso limitado? A oportunidade de “aprender” Física vai ser “igual” para todos? O recurso adotado é melhor pra quem? Esses são alguns elementos dos questionamentos de Selwyn (2017b) sobre que pessoas e instituições serão mais prejudicadas pela nova tecnologia que nos faz pensar sobre os cuidados na inserção dos sistemas experimentais à distância.

T2017-06, T2017-07, T2019-01, T2019-03, T2019-05, T2021-04, T2021-05, T2021-06, T2023-02 e T2023-04 trazem excertos que demonstram a necessidade de refletir sobre a forma como essas tecnologias são propostas, pois são proposições que podem reforçar uma visão salvacionista, desconsiderando a complexidade do processo, inclusive com relação à falta de recursos e formação para a adequada utilização.

O uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), como ferramentas educacionais inteligentes, inova e incrementa o processo de ensino e aprendizagem. (T2019-05, p. 1)

No entanto, a inserção das TIC no âmbito escolar ainda é um desafio, em especial em contextos em que há a falta de acesso a elas. Porém, entende-se que as TIC são ferramentas fundamentais para o processo de ensino-aprendizagem, pois, além de possibilitarem uma maior interação com os objetos de conhecimento e entre os sujeitos do processo, trazem uma abordagem para além da tradicional, recorrentemente marcada por críticas. (T2021-06, p. 1)

A experiência oferece não só um entendimento dos conceitos físicos, mas também habilidades essenciais do século XXI, como pensamento crítico e resolução de problemas. Assim, usar o MFS no ensino de física não somente aprimora a abordagem pedagógica, mas também prepara os alunos para um mundo tecnológico e interconectado. (T2023-02, p. 1)

Nesses excertos, observamos que *essas afirmações reforçam a preposição de que os sistemas experimentais à distância oferecem benefícios que podem reestruturar, reformar e reorientar a natureza, forma e valores da educação pública*, pois depositam nos artefatos tecnológicos a esperança de solucionar problemas enraizados na educação e que prometem revolucionar os processos de ensino-aprendizagem, deixando de refletir sobre o fato de que estes também condicionam a um certo uso que obscurece a capacidade de enxergar as “caixas-pretas” que estão por trás da “nova solução” tecnológica, como os determinantes sociais, econômicos, ecológicos e políticos que configuram comportamentos, estabelecem modos de compreensão da vida, geram novas modalidades de pensamento, moldam a sensibilidade, alteram o olhar diante de condições objetivas e subjetivas, modula os sentimentos e criam necessidades que geram relações desiguais entre os produtores de conteúdo e seus usuários (Sampaio Junior, 2022). Ou seja, os sistemas experimentais à distância oferecem possibilidades para o processo educativo que precisam ser analisadas com cautela, pois estas não são necessariamente condições melhores ou piores que os sistemas experimentais tradicionais, mas possibilidades diferentes que também apresentam limitações.

Sobre essas limitações, 21 trabalhos (T2015-02, T2015-03, T2015-04, T2015-05, T2015-06, T2017-03, T2017-04, T2017-06, T2017-07, T2019-01, T2019-02, T2019-05, T2021-04, T2021-06, T2021-08, T2021-09, T2023-02, T2023-03, T2023-04, T2023-05 e T2023-07) consideram que os *sistemas experimentais à distância são diferentes, logo, geram novos problemas, que têm outra natureza, mas que precisam ser considerados ao se pensar no seu uso*.

É interessante mencionar que o projeto inicial deste experimento foi modificado para que o aluno tivesse acesso às variáveis do experimento. Inicialmente a tensão no fio era aplicada diretamente pelo servo motor. Com isto perdia-se a informação da tensão

que era aplicada ao fio. Apesar de ser possível fazer uma calibração de modo que haja uma conversão da posição do servo motor para a tensão no fio, esta não foi considerada uma boa estratégia dentro de uma perspectiva de uso do experimento em que o aluno teria liberdade de elaborar os seus métodos investigativos. As técnicas de calibrações são muito semelhantes àquelas utilizadas em simulações para retornar indiretamente as variáveis de um problema Físico. O objetivo dos objetos desenvolvidos para o laboratório remoto é que os alunos possam desenvolver suas habilidades técnico-investigativas e desenvolvam a capacidade de analisar os dados. Daí a importância atribuída a utilização dos instrumentos de medidas. (T2015-02, p. 5)

Vale alertar aos docentes a importância de se fazer uma análise crítica a respeito das limitações que o uso apenas da simulação pode trazer na abordagem de determinado conteúdo e como seria possível otimizar sua utilização. (T2017-04, p. 7)

Os SC não devem ser tratados como uma simples alternativa aos experimentos com aparatos físicos, já que constitui outra modalidade, com outra natureza/objetivo. (T2021-06, p. 2)

Ou seja, como afirma Selwyn (2017b), é preciso considerar não só as possibilidades, mas os limites e restrições que a tecnologia impõe, pois qualquer solução é acompanhada de efeitos não intencionais e redirecionamentos a longo prazo. Selwyn (2017a) destaca que a maioria das discussões acadêmicas evitam apresentar os usos historicamente ineficazes e inconsistentes da tecnologia na educação, mostrando a necessidade de um posicionamento mais cético que, para além de desconfiar, busque um olhar analítico, crítico e construtivo que pense estratégias alternativas de inseri-las. Considerando o número total de trabalhos da análise e a frequência com que essas ressalvas apareceram nos trabalhos, podemos deduzir que há um cuidado ao propor esses recursos para o ensino de Física.

Das questões críticas a serem analisadas, T2015-03, T2015-04, T2015-05, T2017-01, T2017-03, T2017-06, T2019-01, T2019-03, T2023-01, T2023-03 e T2023-09 fazem algumas afirmações de que o uso/inserção dos sistemas experimentais à distância no processo educativo vai favorecer a aprendizagem de Física. Seguem alguns excertos que reforçam isso:

Do ponto de vista pedagógico, a criação de uma rede de facilidades experimentais ou de uma comunidade que torne disponível medidas obtidas em diferentes experimentos realizados em diferentes localidades certamente estimulará a troca de informações entre professores e estudantes, alavancando a aprendizagem em Física. (T2015-01, p. 7)

As simulações computacionais, de forma geral, envolvem o estudante e favorecem o desenvolvimento de um modelo mental dos fenômenos que acontecem em seu entorno. Dessa maneira os estudantes, com sua capacidade de abstração, poderão desenvolver hipóteses e testá-las, interagindo com o modelo usado na simulação, de tal forma que poderá dar novas definições a conceitos adquiridos ou até mesmo redefini-los e aplicá-los. (T2015-05, p. 2)

As simulações computacionais não só facilitam, como atraem os alunos para a nossa disciplina [4 - 6]. Ademais, desmistificar aquela ideia de que a Física no ensino médio é um “amontoado” de fórmulas sem sentido. (T2019-03, p. 2)

Quando se afirma que o recurso “vai” favorecer a aprendizagem e motivar os estudantes, desconsideram-se elementos que permeiam o processo de ensino, como a relação do sujeito com aquele conhecimento e com o próprio artefato tecnológico, questões institucionais e questões contextuais mais amplas. Assim, é preciso ***romper com a visão ingênua de que, por serem mediados pelas TDIC, os sistemas experimentais à distância sempre vão gerar “aprendizagem”, desconsiderando a complexidade do processo.*** Para Selwyn (2017a), o ensino mediado pelas tecnologias pressupõe um aprendiz autorresponsável e autônomo,

tomando como pressuposto a capacidade individual de agir de modo empoderado e exigindo cada vez mais alto nível de autodependência e empreendedorismo por parte do indivíduo. No entanto, o autor destaca que os estudos sugerem que somente os grupos de aprendizes privilegiados serão capazes de agir de modo empoderado, ou seja, essa individualização e autonomia que são defendidas no uso dos sistemas experimentais à distância no processo de ensino-aprendizagem pode até aumentar as oportunidades de engajamento educacional, mas também pode aumentar o risco de ele não acontecer ou acontecer de forma rasa. Nesse aspecto, talvez mesmo sem ter como referência a Teoria Crítica da Tecnologia, percebe-se que os trabalhos também trazem alguns excertos que nos mostram uma forma mais adequada de ponderar essa questão, quando consideram a aprendizagem como uma possibilidade. Os trabalhos T2015-05, T2019-01, T2019-05, T2021-01, T2021-03, T2021-06, T2023-02, T2023-08 e T2023-10 evidenciam maneiras possivelmente mais adequadas para referenciar as possibilidades que os sistemas experimentais à distância oferecem.

A simulação permite ilustrar experimentos de interferência e de “qual-caminho” com o interferômetro virtual, mostrando-os de maneira a facilitar a compreensão da dualidade onda-partícula por estudantes de cursos introdutórios de física. (T2017-05, p. 1)

Pelos relatos dos professores pode-se inferir que as simulações podem ser uma forma de potencializar a aprendizagem do aluno. Os professores destacaram no software seu dinamismo e visualização como aspectos positivos. (T2019-01, p. 1)

A partir do jogo, os estudantes podem demonstrar um maior interesse e participação nas atividades relacionadas a esses conteúdos, consolidando seu aprendizado de forma significativa utilizando a plataforma Scratch que proporciona uma experiência imersiva através de desafios e atividades interativas que atraem a atenção dos estudantes e despertam habilidades funcionais como rapidez, concentração e até mesmo sensações emocionais durante o percurso do jogo. (T2023-10, p. 3)

Dos 38, 26 (T2015-01, T2015-02, T2015-04, T2015-05, T2017-01, T2017-02, T2017-03, T2017-04, T2017-05, T2017-06, T2017-07, T2019-02, T2019-03, T2019-04, T2019-05, T2019-06, T2021-01, T2021-02, T2021-06, T2021-08, T2021-09, T2023-01, T2023-03, T2023-06, T2023-09 e T2023-10) apresentam afirmações que, a nosso ver, consideram que os sistemas experimentais à distância fornecem novas possibilidades e estratégias para o âmbito da relação entre educação e tecnologia. No geral, ressaltam que os recursos devem ser utilizados como alternativa e/ou complemento às atividades experimentais reais e pensam em desenvolvê-los de forma mais acessível, considerando os sistemas operacionais de acesso e a possibilidade de outros desenvolvedores quererem aprimorá-los, demonstrando a importância de **considerar questões culturalmente plausíveis de como se opor às desigualdades e hegemonias correntes e propor os sistemas experimentais à distância no processo educacional em linhas mais justas e equitativas**. A Teoria Crítica da Tecnologia nos mostra que esse seria o caminho para um ensino adequado aos diferentes contextos e potencialmente capaz de promover uma democratização das atividades experimentais há tanto tempo precarizadas no ensino de Física.

A proposta do uso de laboratórios virtuais não é substituir os laboratórios reais, mas sim complementá-los. Nos casos onde não há laboratório físico, ter uma forma alternativa de experimentação, possibilitando a oportunidade de ensinar os alunos habilidades para resolver problemas, gerar criatividade, é fundamental, inclusive porque estes softwares permitem a vivência de experiências, além de serem úteis como complementação aos laboratórios reais. (T2015-04, p. 1)

Dessa forma, o Astron3D possui fácil portabilidade para os principais sistemas operacionais utilizados nos dispositivos móveis comercializados atualmente, tais como: Android, iOS e Windows Phone. (T2017-02, p. 3)

O programa desenvolvido possui código aberto uma vez que seu propósito é ser acessível a todo e qualquer colaborador interessado em aprimorá-lo. Assim, se pretende aumentar a abrangência do programa nos mais diversos ramos da Física. (T2019-06, p. 3)

O trabalho T2023-10 se destaca ao apresentar a possibilidade dos sistemas experimentais à distância serem um caminho para democratizar o conhecimento e discutir temas historicamente apagados da ciência, como as questões de gênero.

O jogo aborda conteúdos definidos pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) como base para o ensino de Astronomia, como a observação do céu, instrumentos e modelos astronômicos. Além disso, o jogo também se dedica a discutir as contribuições das mulheres no campo da Astronomia, com a finalidade de promover a popularização da ciência e despertar a curiosidade dos jogadores sobre o universo astronômico. (T2023-10, p. 1)

No entendimento de Feenberg (2013), um dos caminhos para a transformação democrática é expandir a tecnologia para uma escala mais larga de interesses, conduzindo o seu *design* para uma maior compatibilidade com os limites humanos e naturais da ação técnica, ou seja, por meio do *redesign*, que aqui podemos inferir como adequações da construção e utilização dos sistemas experimentais à distância. Assim, pode-se construir um ensino de Física mais justo, humano e adequado às diferentes realidades educacionais.

5 CONSIDERAÇÕES

A fim de analisar as propostas de sistemas experimentais à distância sob a ótica da Teoria Crítica da Tecnologia, o presente trabalho investigou quais são essas atividades, por quem são produzidas e qual a intencionalidade quando propostas para serem inseridas no processo de ensino-aprendizagem de Física. A análise se deu pelas atas e anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física dos anos de 2015, 2017, 2019, 2021 e 2023, um importante e significativo evento da área com foco em reunir estudantes, professores e pesquisadores da área de ensino de Física para discutir propostas educacionais.

Dos 38 trabalhos identificados como tendo o objetivo de discutir e analisar os sistemas experimentais à distância, 6 referem-se a laboratórios remotos, que são experimentos reais automatizados e acessados por meios das TDIC em uma interface e 32 são laboratórios virtuais à distância, nos quais aparecem simulações, animações e jogos elaborados por meio de diferentes linguagens visuais (como Scratch), de programação (Java, JavaScript, C, C++ e C#) ou de marcação (HTML e HTML5). Desses sistemas experimentais à distância, 89,5% são recursos caracterizados como *open source*, desenvolvidos e propostos por instituições públicas e apenas 10,5% deles são recursos de código fechado (*closed source*) que, mesmo oferecendo a oportunidade de serem acessados, em partes, de forma gratuita, são recursos desenvolvidos por empresas privadas.

Dessa análise, percebe-se que há um esforço das instituições públicas de desenvolver sistemas experimentais à distância e de adequá-los a fim de propor alternativas e favorecer o processo de ensino-aprendizagem da Física, que há décadas sofre com a precariedade de recursos. No entanto, a Teoria Crítica da Tecnologia nos ajuda a refletir acerca da necessidade dessas propostas ponderarem os contextos e efeitos que esses novos artefatos proporcionam, lembrando que eles não são neutros e que, mesmo que bem intencionados, foram propostos por pessoas que carregam diferentes concepções do processo educacional e que os desenvolveram a partir de sua formação e de seus interesses. Os autores da Teoria Crítica da Tecnologia nos lembram, também, que os artefatos tecnológicos muitas vezes se destacam pela receptividade

do meio social e não necessariamente por ter o desenho mais bem-sucedido, nos levando a considerar a importância da formação dos educadores para o uso desses recursos, pois não são as propostas didáticas que precisam se adequar as TDIC, mas elas que precisam se adequar aos contextos e objetivos educacionais.

Sobre a intencionalidade com que os sistemas experimentais à distância são propostos, os desenvolvedores, pesquisadores e professores que estão propondo o recurso deixam claro que não se pretende substituir os sistemas experimentais tradicionais, mas complementá-los, visto que reconhecem que estes oferecem possibilidades diferentes dos que são realizados de forma presencial. Contudo, identificou-se a necessidade de evitar uma visão ingênua de que as condições para uso material dos sistemas experimentais à distância são mais acessíveis que os experimentos reais, pois muitas vezes os recursos para acesso a esses experimentos são limitados e não proporcionam a experiência para a qual foram desenvolvidos, limitando o seu uso e potencial.

Reforça-se a necessidade de pensar sobre os contextos de inserção dessas atividades e os sentimentos e emoções que geram em relação ao seu cotidiano, pois é preciso lembrar que, quando falamos de tecnologia digital, não estamos, necessariamente, falando dela em si, mas, sobretudo, das práticas e atividades que pessoas em diferentes contextos sociais conduzem e são conduzidas por meio delas. Nesse contexto, também se observa a necessidade de ponderar as afirmações que levam a uma visão salvacionista dos sistemas experimentais à distância e que reforçam ideias de que estas podem reestruturar, reformar e reorientar a natureza, forma e valores da educação pública.

Assim, é preciso considerar não só as possibilidades, mas os limites e restrições que a tecnologia impõe, pois qualquer solução é acompanhada de efeitos não intencionais e redirecionamentos a longo prazo. Também evidenciou-se que os sistemas experimentais à distância são defendidos como forma de potencializar o processo de ensino-aprendizagem da Física, mas quando se afirma que o recurso “vai” favorecer e motivar a aprendizagem, desconsideram-se elementos que permeiam o processo de ensino-aprendizagem, como as interações entre os sujeitos envolvidos no processo, a relação do sujeito com aquele conhecimento e com o próprio artefato tecnológico, questões institucionais e questões contextuais mais amplas.

Por fim, foram identificados elementos que mostram que o recurso pode ser pensado para democratizar a ciência e oferecer formas de usos alternativos que consideram questões culturalmente plausíveis de como se opor às desigualdades e hegemonias correntes e propor os sistemas experimentais à distância no processo educacional em linhas mais justas e equitativas. Mas também se evidenciou que essa discussão ainda é incipiente e gira em torno de oferecer acesso às atividades experimentais. Nesse sentido, intenciona-se ampliar essa investigação para as atas do Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), com vistas a ampliar a compreensão acerca das propostas de sistemas experimentais à distância no processo de ensino-aprendizagem de Física sob a ótica da Teoria Crítica da Tecnologia.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, Jose de Pinho. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. 2000. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/79015>. Acesso em: 15 de julho de 2025.
- ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.
- BRASIL. **Lei nº 5.692**, de 11 de agosto de 1971. Fixa diretrizes e bases para o ensino de 1º e 2º graus, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 ago. 1971. Seção 1, p. 6377. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15692.htm. Acesso em: 27 de fevereiro de 2026.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2026.
- CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO – CETIC.BR. **TIC educação: pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas escolas brasileiras**. 2023. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2024. [livro eletrônico]. Disponível em: https://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20241119194257/tic_educacao_2023_livro_completo.pdf. Acesso em: 12 de julho de 2025.
- CUPANI, Alberto. A tecnologia como problema filosófico: três enfoques. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 493-518, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ss/a/n3cCz6JTQch58cvbmKJjRnN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 de julho de 2025.
- FEENBERG, Andrew. Teoria crítica da tecnologia: um panorama. In: NEDER, Ricardo T. (org.). **A Teoria Crítica de Andrew Feenberg: racionalização democrática, poder e tecnologia**. 2. ed. Brasília: Observatório do Movimento pela Tecnologia Social na América Latina / CDS / UnB / CAPES, 2013. p. 97 - 118. Disponível em: https://www.sfu.ca/~andrewf/books/Portug_Teoria_Critica_da_Tecnologia.pdf. Acesso em: 12 de julho de 2025.
- LEITÃO, Susana Maria Barbosa. **Um ambiente experimental à distância**. 2006. Dissertação (mestrado em tecnologia multimídia) – Universidade do Porto. Porto. Portugal. 2006. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12746/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 15 julho 2025.
- POSTMAN, N. **The surrender of culture to technology**. Palestra realizada no College of DuPage, 11 mar. 1997. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hIrv7DIHIIIE>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2026.
- PRETTO, Nelson de Luca; BONILA, Maria Helena Silveira. Tecnologias e educações: um caminho em aberto. **Em Aberto**, Brasília, v. 35, n. 113, 2022. Disponível em: <https://emaberto.inep.gov.br/ojs3/index.php/emaberto/artic%20le/view/5085/4128>. Acesso em: 21 de julho de 2025.

SAMPAIO JUNIOR, Luiz Henrique. A Teoria Crítica da Tecnologia de Andrew Feenberg: reflexões sobre a inserção de novos elementos tecnológicos no ambiente escolar. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 103, n. 265, p. 786-807, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeped/a/Vc5TSKYFMPFdKWmRpbghCQ/?lang=pt>. Acesso em: 21 de julho de 2025.

SELWYN, Neil. A Tecnologia educacional como Ideologia. In: SELWYN, Neil. **Distrusting Educational Technology: critical questions for changing times**. Edição para Kindle. Londres: Routledge, 2014. Capítulo 2, p. 1-74. Traduzido pela Profa. Dra. Giselle Martins dos Santos Ferreira, Coordenadora do Grupo de Pesquisas TICPE. Disponível em: https://ticpe.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/12/neil_selwyn_distrusting_cap2_trad_pt_final.pdf. Acesso em: 15 julho 2025.

SELWYN, Neil. Educação e Tecnologia: questões críticas. In: FERREIRA, Giselle Martins dos Santos Ferreira; ROSADO, Luis Alexandre da Silva; CARVALHO, Jaciara de Sá (Org.). **Educação e Tecnologia: abordagem crítica**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Universidade Estácio de Sá, 2017b, p. 85 – 103. Disponível em: <https://ticpe.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/04/ebook-ticpe-2017.pdf>. Acesso em 12 de julho de 2025.

SELWYN, Neil. O que queremos dizer com “educação” e “tecnologia”? In: SELWYN, Neil. **Education an Tecnology: key issues and debates**. Edição para Kindle. Londres: Bloomsbury, 2011. Capítulo 1, p. 1 – 47. Traduzido pela Profa. Dra. Giselle Martins dos Santos Ferreira, Coordenadora do Grupo de Pesquisas TICPE, PPGE/UNESA. Disponível em: https://ticpe.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/12/neil_selwyn_keyquestions_cap1_trad_pt_final1.pdf. Acesso em: 15 de julho de 2025.

SELWYN, Neil. Um panorama dos estudos críticos em educação e tecnologias digitais. In: ROCHA, Claudia Hilsdorf; KADRI, Michele Salles; WINDLE, Joel Austin (Org.). **Diálogos sobre tecnologia educacional: educação linguística, mobilidade e práticas translíngues**. 1ª Ed. Campinas: Pontes, 2017a, p. 15 – 40. Disponível em: [file:///C:/Users/CINTI/Downloads/JELT%20chapter%20-%20Selwyn%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/CINTI/Downloads/JELT%20chapter%20-%20Selwyn%20(1).pdf). Acesso em: 15 de julho de 2025.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.