

---

## FOMENTANDO A CONSTRUÇÃO DE SIMULAÇÕES MENTAIS POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DE SLIDES PARA O ENSINO DE RELATIVIDADE ESPECIAL

*PROMOTING THE CONSTRUCTION OF MENTAL SIMULATIONS THROUGH THE USE OF SLIDES FOR THE SPECIAL RELATIVITY TEACHING*

Maira Giovana de SOUZA<sup>1</sup>  
Agostinho SERRANO<sup>2</sup>

### Resumo

O presente artigo apresenta a construção e a aplicação de um conjunto de 63 slides elaborados para trabalhar a temática da Teoria da Relatividade Especial. Para a construção do material didático, foi inicialmente realizada uma ampla revisão bibliográfica, e o material foi desenvolvido dentro da epistemologia de Laudan, buscando mostrar o desenvolvimento histórico da Teoria da Relatividade através da resolução de problemas anômalos que surgiram em seu desenvolvimento. Os slides contam com imagens, animações, gifs animados e vídeos, buscando fomentar a construção de simulações mentais pelos estudantes, dentro da perspectiva de Clement (1999). O produto foi utilizado com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública da rede estadual de ensino durante as aulas de Física. Os estudantes responderam a pré e pós-testes e, após análise dos resultados, alguns foram selecionados e posteriormente entrevistados. Através de uma análise gestual descritiva das entrevistas pode-se concluir que o material teve uma influência significativa positiva para que os estudantes desenvolvessem simulações mentais que pudessem ser acessadas mesmo sem a presença dos slides, e estas simulações mentais são adequadas para que os mesmos resolvam com sucesso problemas de relatividade especial.

**Palavras-chave:** Teoria da Relatividade; Epistemologia de Laudan; Simulações Mentais; Material Didático Fundamentado.

### Abstract

This article presents the construction and application of a set of 63 slides designed to work on the theme of Special Theory of Relativity. For the construction of the didactic material, a wide bibliographic review was initially carried out, and the material was developed within Laudan's epistemology, seeking to show the historical development

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM) - ULBRA. Email: maira.souza@rede.ulbra.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM) - ULBRA. Email: agostinho.serrano@ulbra.br

of the Theory of Relativity through the resolution of anomalous problems that emerged in its development. The slides have images, animations, animated gifs and videos, seeking to encourage the construction of mental simulations by students, within the perspective of Clement (1999). The product was used with third year high school students from a public school in the state school system during Physics classes. The students answered pre and post-tests and, after analyzing the results, some were selected and later interviewed. Through a descriptive gestural analysis of the interviews, it can be concluded that the material had a significant positive influence for students to develop mental simulations that could be accessed even without the presence of slides, and these mental simulations are suitable for them to solve with success problems of special relativity.

**Key words:** Theory of relativity; Laudan's Epistemology; Mental Simulations; Grounded Teaching Material.

## **Introdução**

A ciência é uma construção humana que busca compreender e explicar a natureza através de teorias e leis que são desenvolvidas por cientistas, ou seja, seres humanos. Entretanto, essa compreensão da natureza está em constante construção, possui um caráter mutável e vai se moldando ao longo do tempo. Teorias são criadas para explicar fenômenos, novos fenômenos surgem e com eles novos problemas a serem resolvidos, surgindo a necessidade de reformulação ou criação de novas teorias.

Apesar disso, a ciência adquiriu uma reputação que provocou um grande distanciamento seu da realidade cotidiana da sociedade (CHALMERS, 1993). A visão que grande parte das pessoas possui é de que cientistas são gênios que descobrem como os fenômenos acontecem. Dentro do ambiente escolar essa visão não é diferente, os estudantes carregam consigo essa concepção construída socialmente de que a ciência não é algo que faz parte de suas vidas, o que acaba gerando, inclusive, uma aversão às disciplinas da área (FOUREZ, 2003; NOGUEIRA *et al*, 2018).

De maneira geral, no Ensino Médio os estudantes possuem uma concepção pobre de ciência (SILVA, 2010). Em estudo recente, Vizzotto e Mackedanz (2019) constataram que a maior parte dos estudantes de Ensino Médio não são alfabetizados cientificamente, apresentando um baixo desempenho em relação à compreensão da natureza da ciência. Eles acreditam que toda teoria necessita de teste experimental,

que não pode apresentar falhas e que não existem novos fenômenos a serem explicados pela ciência. Essa visão é usualmente chamada de concepção absolutista da ciência.

Um dos objetivos do ensino é a desconstrução dessa visão da ciência como algo engessado e excessivamente formal e alheio ao cotidiano da sociedade, para que os estudantes possuam uma formação mais completa como cidadãos (PCN, 1998; BNCC, 2018). Entretanto, resultados como os mencionados anteriormente reforçam a necessidade de iniciativas com o objetivo de melhorar a concepção sobre a natureza da ciência dos estudantes.

Dessa forma, uma mudança na forma de enxergar a ciência pode ter um impacto positivo para o ambiente escolar, pois pode aumentar o interesse dos estudantes por ela. Portanto, é importante que se traga esse tipo de perspectiva para a sala de aula, desmistificando a visão restrita de ciência que a maior parte dos estudantes possui. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018) ressalta a importância da compreensão da ciência como construção social: “a contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais” (BRASIL, 2018, p. 549).

Além disso, é imprescindível a compreensão da ciência como algo não acabado, entender que existem fenômenos a serem detectados e estudados. Para isso, a abordagem de tópicos modernos é necessária. Esses fenômenos também são usualmente os de maior interesse dos estudantes, que têm contato com eles muitas vezes somente através da mídia, não sendo abordados em sala de aula. Dentro da Física não é diferente, o que mostra a importância da abordagem da Física Moderna.

Terrazan (1982) defende que existe uma crescente influência da Física Moderna e Contemporânea na construção da visão de mundo atual, ou seja, esse tipo de temática possibilita aos estudantes uma inserção participativa e consciente no mundo, sendo importante para sua formação como cidadãos. Conforme destacado nos PCN (1998):

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao

longo dos tempos [...]. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram. [...] Essa percepção do saber físico como construção humana constitui-se condição necessária, mesmo que não suficiente, para que se promova a consciência de uma responsabilidade social e ética (BRASIL, 1998, p. 27-28).

Portanto, a abordagem da Física Moderna em sala de aula é de importância para a área de Ensino. Nesse contexto, está a Teoria da Relatividade de Einstein (TR), um tópico usualmente de grande interesse dos estudantes. A TR permitiu o surgimento de novos recursos tecnológicos bem como possibilitou uma melhor compreensão da natureza. Conforme a ciência progrediu na compreensão da natureza da luz, surgiram alguns problemas que não podiam ser explicados pelas teorias da época. Portanto, foram necessárias mudanças que trouxeram uma nova compreensão da natureza, através da TR.

Essa teoria exemplifica o caráter mutável da ciência ao longo do tempo, entretanto, para que os estudantes possam efetivamente compreender essas mudanças, eles precisam entender os fundamentos das teorias. Nesse contexto, o desenvolvimento de simulações mentais (MONAGHAN; CLEMENT, 1999) pode facilitar essa compreensão.

Partindo das ideias de imagens mentais, na perspectiva da linha de trabalhos de Monaghan e Clement (1999) e Stephens e Clement (2010), no âmbito do ensino de ciências, simulações mentais são recursos desenvolvidos pelos estudantes que podem ser acessados de forma *offline* para auxiliá-los na resolução de problemas. Conforme Finke (1989 *apud* MONAGHAN; CLEMENT, 1999), uma imagem mental seria “a invenção mental ou recriação de uma experiência que, em pelo menos alguns aspectos, se assemelha à experiência de realmente perceber um objeto ou evento” (FINKE, 1989 *apud* MONAGHAN; CLEMENT, 1999, tradução nossa).

Uma simulação mental, portanto, trata-se de uma reprodução mental utilizada para a “visualização interna” de algum fenômeno, constituindo-se em um esquema de conhecimento que pode assimilar padrões de percepção bem como antecipá-los. Deste modo, uma simulação mental dependeria de imagens mentais dinâmicas e, portanto, suas evidências seriam “observações que indicam a presença de imagens dinâmicas perto da produção de uma previsão para um evento que o sujeito não observou” (MONAGHAN; CLEMENT, 1999, tradução nossa).

Nessa linha de estudos (CLEMENT, 1994; CLEMENT & STEINBERG, 2002; MONAGHAN & CLEMENT, 1999; STEPHENS & CLEMENT, 2010; 2015) entende-se que uma simulação mental é construída através da interação com determinados recursos que permitam a observação dos fenômenos, como simulações e animações.

Portanto, viabilizando a visualização dos fenômenos pode-se fomentar a construção e uso dessas simulações mentais pelos estudantes, principalmente em situações com alto grau de abstração, que é o caro da TR. Dessa forma, se faz necessária a utilização de um recurso didático que possibilite a visualização de fenômenos de algo grau de abstração e tenha uma abordagem da ciência como mutável e socialmente construída.

Para isso, desenvolvemos um conjunto de *slides* elaborados através da visão epistemológica de Larry Laudan (1978), do progresso científico pela resolução de problemas, que abordam a transição entre a Relatividade Galileana, na Física Clássica, e a Relatividade Restrita de Einstein, na Física Moderna. Esse material possui uma série de vídeos, gifs animados e animações com o intuito de fomentar a construção de simulações mentais (MONAGHAN; CLEMENT, 1999) pelos estudantes para o entendimento dos fenômenos abordados.

O desenvolvimento desse produto é parte de uma pesquisa de mestrado em andamento dentro do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil (PPGECIM/ULBRA), inserido na linha de pesquisa Tecnologias de Informação e Comunicação para o Ensino de Ciências e Matemática (TIC).

### **A Epistemologia de Laudan**

Para a construção do produto educacional a perspectiva epistemológica de Laudan foi utilizada, de que a ciência progride com a resolução de problemas. Nascido nos Estados Unidos em 1941, Larry Laudan se formou em Física na Universidade do Kansas e obteve o título de doutor em Filosofia pela Universidade de Princeton. Segundo ele, “a ciência é essencialmente uma atividade de solução de problemas” (LAUDAN, 1978, p. 17). Assim sendo, a partir do que o epistemólogo chama de

características importantes observadas historicamente no desenvolvimento da ciência, ele propõe uma epistemologia baseada na resolução de problemas.

Esses problemas são classificados por Laudan como empíricos e conceituais. Dessa forma, a ciência progride quando surgem teorias que resolvem mais problemas que as predecessoras. Enquanto os problemas empíricos são aqueles relacionados ao que existe no mundo, ou seja, explicação de fenômenos, os problemas conceituais são os decorrentes da própria teoria, surgindo com a sua formulação. Esses problemas conceituais possuem peso relativo, dependendo do grau de incompatibilidade entre as teorias em conflito, de quantas teorias apresentam o mesmo problema, de quantos problemas a teoria resolve e o tempo que estes problemas estão sem resolução.

Portanto, os problemas resolvidos são a base para o progresso científico, ou seja, a ciência progride quando surgem novas teorias que resolvem mais problemas que as teorias atuais. Assim, o objetivo das teorias é resolver o maior número possível de problemas empíricos e gerar um número reduzido de problemas conceituais. Ou seja, aumentar o alcance dos problemas empíricos resolvidos e reduzir o alcance dos problemas não resolvidos e conceituais. Evidentemente, a efetividade de uma teoria irá depender de como ela equilibre seus problemas resolvidos e não resolvidos. Isto é, avaliação das teorias é uma questão de comparação.

Laudan também afirma que mesmo uma teoria bem comprovada empiricamente pode vir a ser substituída por uma menos comprovada e ainda assim haver progresso científico. Por exemplo, quando essa nova teoria apresentar menos problemas conceituais que a anterior. Nesse mesmo aspecto, as soluções para os problemas não são permanentes. O que é considerada uma resposta satisfatória na atualidade pode não ser no futuro. Laudan exemplifica com a situação da queda dos corpos. Na antiguidade, Aristóteles havia resolvido esse problema, entretanto séculos a frente, para Galilei a solução já não era satisfatória, levando-o a buscar novas respostas.

Enquanto as teorias têm por objetivo explicar os fenômenos, ou seja, resolver problemas, existem visões fundamentais sobre o mundo que definem quais serão esses problemas. Laudan chama essas visões de tradições de pesquisa, que são os conjuntos de normas para o desenvolvimento dessas teorias.

“Uma tradição de pesquisa é um conjunto de suposições acerca das entidades e dos processos de uma área de estudo e dos métodos adequados a serem utilizados para investigar os problemas e construir as teorias dessa área do saber”. (LAUDAN, 1978, p. 115)

O epistemólogo também aperfeiçoa a ideia das revoluções científicas de Thomas Kuhn. Conforme Laudan (1978), quando algum pesquisador rompe com sua tradição de pesquisa e adere, ou cria, uma nova tradição de pesquisa ocorre uma revolução científica. Essa revolução se estabelece quando essa nova tradição, que era desconhecida ou ignorada pela comunidade científica, se desenvolve de tal forma que os cientistas se veem obrigados a considerá-la como possibilidade de adesão.

Historicamente, a troca da teoria do Calórico pela Teoria Cinético-Molecular da matéria constitui uma revolução científica. Atualmente se tem a concepção de que o calor é energia em trânsito, entretanto, até o século XIX ele era considerado um fluido. Conforme novos fenômenos foram observados, surgiram anomalias que a teoria do Calórico não conseguia explicar. Surgiu então a Teoria Cinético-Molecular da matéria, explicando esses fenômenos. Portanto, ocorreu gradativamente uma adesão à essa nova tradição de pesquisa, do calor como energia.

É evidente na história da ciência, e Laudan (1978) destaca, que o progresso da ciência não é um fenômeno acumulativo, ou seja, nem sempre a nova teoria que surge soluciona todos os problemas da teoria anterior. Um exemplo trazido pelo autor:

Uma teoria T1 explica detalhadamente o desenvolvimento embriológico das águias e das garças; outra teoria T2 explica o desenvolvimento embriológico de todas as aves, exceto as águias. T2 é mais progressiva que T1, mas não resolve todos os problemas que T1 resolvia. (LAUDAN, 1978, p. 210)

Fica claro que é necessário se conhecer o peso dos problemas para que se possa ponderar se uma teoria científica é ou não progressiva. Assim, o progresso científico está diretamente atrelado à resolução de problemas empíricos e conceituais. Ou seja, quanto mais problemas a teoria resolver e menos problemas gerar, mais progressiva ela é, mas, ainda assim, analisando-se teorias concorrentes deve-se comparar seus problemas.

Portanto, utilizando a abordagem epistemológica de Larry Laudan, por meio de um material didático na forma de slides, buscou-se apresentar elucidar quais foram os problemas que surgiram historicamente e que não podiam ser resolvidos pela

relatividade galileana, para que dessa forma os estudantes possam compreender a necessidade da utilização das transformações de Lorentz e elaboração da Teoria da Relatividade Especial, que se mostrou mais progressiva que as teorias científicas disponíveis até então.

### **Apresentação do Produto Educacional**

O material didático produzido consiste em uma apresentação com 63 *slides*<sup>3</sup> constituídos com a utilização de diferentes recursos como vídeos, gifs animados e animações, buscando potencializar o entendimento da Relatividade Especial pelos estudantes através da construção de simulações mentais por eles.

Por meio da utilização dos vídeos, animações e gifs, pretende-se fomentar a construção de simulações mentais pelos estudantes referentes aos fenômenos abordados. Visto que os efeitos da Teoria da Relatividade Especial não são perceptíveis no cotidiano, necessita-se de recursos que possibilitem essa visualização, para que então os estudantes internalizem essas simulações e possam acessá-las mentalmente e de maneira *offline* para resolver os problemas com os quais se deparam (CLEMENT, 1994; CLEMENT & STEINBERG, 2002; MONAGHAN & CLEMENT, 1999; STEPHENS & CLEMENT, 2010; 2015).

A apresentação começa com uma introdução à Teoria da Relatividade Especial, explicando brevemente o que ela é e suas consequências. Então faz-se o questionamento “Por que a Teoria da Relatividade foi criada?”, para então ser feito um resgate histórico dos fatos que levaram à criação dela.

Dessa forma, é abordada a Relatividade de Galileu (Figura 01), explicando como ocorrem as transformações de Galileu entre diferentes sistemas de referência, bem como o Princípio da Relatividade. Também são trazidos exemplos de como determinar a velocidade relativa entre referenciais por meio de animações de carros em movimento.

A primeira animação empregada, a da movimentação dos carrinhos, tem como objetivo auxiliar os estudantes em imaginar a situação para poder reproduzi-la

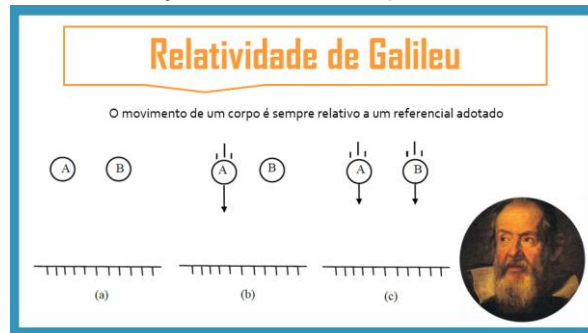
---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://ppgecim.ulbra.br/ciencias/index.php/2020/04/14/apresentacao-de-slides-sobre-a-teoria-da-relatividade-especial/>



mentalmente posteriormente, ou seja, desenvolver uma simulação mental. O tópico é finalizado com alguns exercícios sobre movimento relativo.

**Figura 01:** Slide 7, traz as primeiras ideias da relatividade de Galileu. A bolinhas possuem animação e movem-se para baixo.

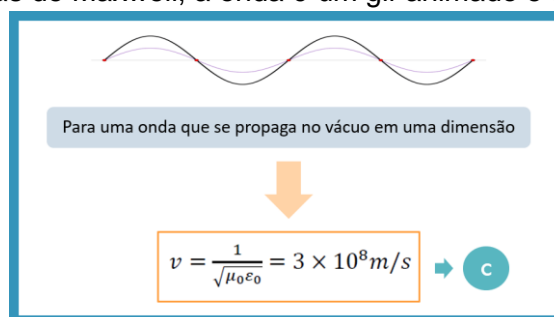


Fonte: Os autores (2020).

Depois disso, alguns eventos históricos começam a ser abordados. Primeiramente a medição da velocidade da luz, pelo astrônomo Ole Roemer no século XVI (HAWKING, 2015). Então a união dos fenômenos elétricos e magnéticos por James Clerk Maxwell ao desenvolver seu conjunto de equações no século XIX (MONÇORES, 2014).

É apresentado que, através Equações de Maxwell entende-se que os fenômenos eletromagnéticos possuem um comportamento ondulatório e é possível calcular velocidade de propagação dessa onda (Figura 02). O valor obtido é o mesmo calculado para a velocidade da luz, logo conclui-se que a luz é uma onda eletromagnética. Os resultados de Maxwell foram confirmados experimentalmente por Heinrich Hertz em 1887 (HAWKING, 2015).

**Figura 02:** Slide 21, mostra o cálculo da velocidade da onda eletromagnética através das ideias de Maxwell, a onda é um gif animado e oscila.



Fonte: Os autores (2020).

A velocidade das ondas eletromagnéticas depende das constantes  $\mu_0$  e  $\epsilon_0$ , assim como as forças elétrica e magnética. Entretanto, esses valores não podem depender de algum referencial, se não, as forças elétrica e magnética mudariam com

a troca de referencial também. Dessa forma, é apresentada uma incoerência que surgiu entre a Relatividade de Galileu e o Eletromagnetismo, assim como o questionamento: “A partir de qual referencial a velocidade da luz é  $c$ ?”.

São apresentadas então três possibilidades: o princípio da relatividade só é válido na Mecânica Clássica, na Eletrodinâmica é necessária a adoção de um referencial privilegiado (éter); o princípio da relatividade é válido na Mecânica Clássica e na Eletrodinâmica, mas as equações de Maxwell estão incorretas; ou o princípio da relatividade é válido na Mecânica Clássica e na Eletrodinâmica, mas as leis de Newton e a Relatividade de Galileu precisam ser reformuladas.

Historicamente, seguiu-se em direção à primeira opção, de que existia um referencial absoluto, o éter. Então, buscando compatibilizar matematicamente o Eletromagnetismo e a Mecânica Clássica, Hendrik Lorentz desenvolve suas transformações entre um sistema de referência e outro, acrescentando um fator  $\gamma$  de correção, chamado Fator de Lorentz (Figura 03).

Ressalta-se que Lorentz acreditava e defendia a existência do éter. Junto com Poincaré desenvolveram a ideia de “tempo próprio”, que seria o marcado por relógios em repouso para o referencial do éter. Conforme Lorentz, esse éter preenchia todo o universo, logo a Terra se moveria em relação a ele. Partindo dessa ideia, é trazido que da Terra poderia ser detectado o éter.

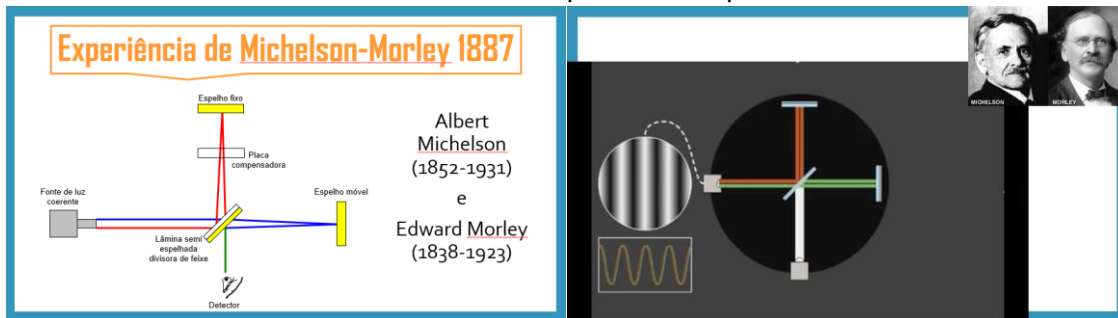
**Figura 03:** Slides 27 e 28, que introduzem as Transformações de Lorentz.

Fonte: Os autores (2020).

É apresentado então o experimento do interferômetro de Michelson e Morley, de 1887 (Figura 04). O conceito de interferência de ondas é retomado brevemente, com a utilização de gifs animados. Então o funcionamento do experimento é explicado e um vídeo (Figura 04) o simulando é apresentado, com o intuito de facilitar o entendimento dos estudantes.

É discutido o resultado esperado pelo experimento. Entretanto, esse resultado não é obtido. Então George FitzGerald afirma ocorrer um encurtamento no braço do interferômetro, por esse ter se deslocado em relação ao éter. Lorentz concorda com as conclusões de FitzGerald.

**Figura 04:** Slides 33 e 35, demonstrando o experimento de Michelson-Morley, no slide 35 há um vídeo de um esquema do experimento.

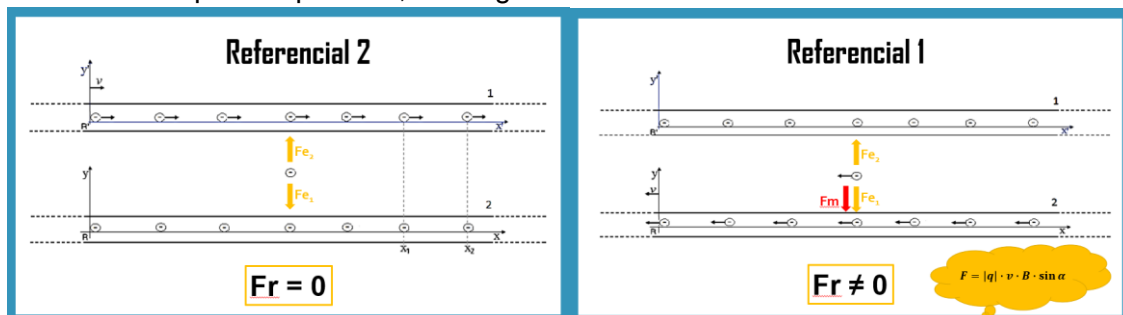


Fonte: Os autores (2020).

Nesse cenário, surgem as ideias de Albert Einstein. Para Einstein, a ideia do éter trazia uma assimetria em relação aos fenômenos de indução eletromagnética, pois esses não dependiam de um referencial para ocorrer. Dessa forma, traz a ideia da velocidade da luz absoluta, tendo o mesmo valor medida de qualquer referencial. Essa concepção implica em o tempo e o espaço serem relativos.

É apresentada então uma situação onde um fenômeno eletromagnético não pode ser explicado sem a Teoria da Relatividade de Einstein (FREZZA, 2015). Existem duas barras negativamente carregadas, com a mesma densidade de carga elétrica, e uma carga negativa entre elas.

**Figura 05:** Slides 41 e 42, demonstram uma situação de troca de referencial que só pode ser explicada pela TR, as cargas elétricas com flechas movem-se.



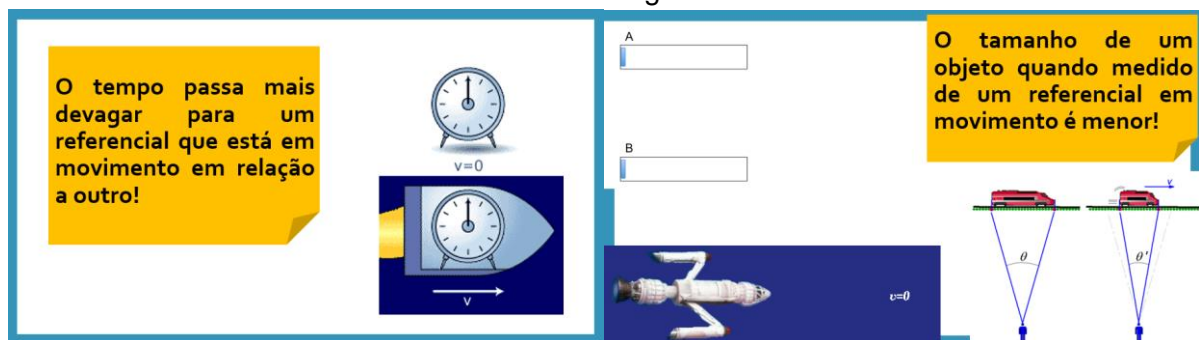
Fonte: Os autores (2020).

O movimento das cargas é animado (Figura 05), facilitando a compreensão pelos estudantes. Pelas leis do Eletromagnetismo, a força resultante em um

referencial seria nula, enquanto no outro não. Isso viola o Princípio da Relatividade, então questiona-se como resolver essa situação.

Finalmente a Teoria da Relatividade Especial é aprofundada. Através de gifs animados e cálculos simples é demonstrado que, considerando-se a velocidade da luz absoluta, não é possível que o espaço e o tempo sejam os mesmos em referenciais diferentes. São trazidos então os fenômenos da dilatação temporal e contração espacial (Figura 06).

**Figura 06:** Slides 48 e 50, resumo da dilatação temporal e contração espacial, o relógio, as barras e a nave são gifs animados.



Fonte: Os autores (2020).

São utilizados gifs animados para representar os dois fenômenos, que não são observados em situações cotidianas, o que dificulta para que os estudantes os imaginem. Depois disso é apresentada a soma de velocidades na Relatividade Especial, sendo apresentado um vídeo e dois exemplos com animações. Então é abordada brevemente a relatividade da simultaneidade.

É retomado então o exemplo das duas barras eletricamente carregadas, em que é demonstrado que somente se levando em conta a contração espacial que a força resultante será nula em ambas as situações, isso se dá através de animações nos *slides*. Por fim, são trazidos exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial.

No conjunto dos *slides*, a temática da Teoria da Relatividade teve uma abordagem histórica e trouxe os motivos do seu surgimento. Foram apresentadas situações e fenômenos que a Relatividade de Galileu não pôde explicar, ou seja, problemas anômalos para essa teoria.

Desse modo, foram trazidas as hipóteses de reformulações das teorias vigentes. Por fim, é demonstrado que a Teoria da Relatividade Especial apresentada por Einstein foi capaz de explicar esses fenômenos, isto é, foi capaz de resolver

problemas que ainda não tinham solução. Dessa forma, a Teoria da Relatividade de apresentou como mais progressiva.

Nos 63 *slides* foram utilizadas 35 imagens, sendo que 12 delas possuíam animações. Também foram utilizados 3 vídeos curtos, o primeiro sobre a ideia de movimento relativo, o segundo sobre o experimento de Michelson-Morley e o terceiro sobre a soma de velocidades na Relatividade Especial. Ao todo os *slides* contam com 12 gifs animados variados e 8 exercícios, sendo 4 sobre a Relatividade de Galileu e 4 sobre a Relatividade de Einstein<sup>4</sup>.

### **Aplicação do Material**

Como mencionado anteriormente, o desenvolvimento do produto faz parte de uma pesquisa de mestrado em andamento no PPGECIM (ULBRA). A apresentação de *slides* foi utilizada com 82 alunos de quatro turmas diferentes de uma escola da rede pública estadual durante as aulas da disciplina de Física. A disciplina possui duas aulas semanais de 50 min cada, as atividades foram realizadas durante um total de 10 aulas e a pesquisadora era a professora titular das turmas. Além dos *slides*, os alunos interagiram com simulações computacionais e responderam questionários de pré-teste e pós-teste.

Após as atividades, 14 alunos, selecionados através dos resultados de seus questionários, a fim de contemplar diferentes níveis de compreensão. Eles foram entrevistados individualmente, tendo como pauta as atividades realizadas. Essas entrevistas foram gravadas e foi utilizado o protocolo *Report Aloud* (TREVISAN *et al.*, 2019) que consiste em um diálogo constante com o estudante sobre o que ele havia pensado e do que havia lembrado no momento de realizar cada atividade. Durante as entrevistas, se o estudante mencionasse diretamente os *slides*, eram apresentados os *slides* impressos, para que ele identificasse o slide do qual se recordava.

A análise dessas entrevistas foi realizada através da técnica da Análise Gestual Descritiva (MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT, 2010). Constituiu-se em uma análise qualitativa que tem como objetivo identificar padrões de gestos descritivos (dinâmicos ou estáticos) realizados pelos estudantes. Esses gestos

---

<sup>4</sup> Todos os recursos utilizados na elaboração dos slides são conteúdos abertos e foram devidamente referenciados no final da respectiva apresentação.

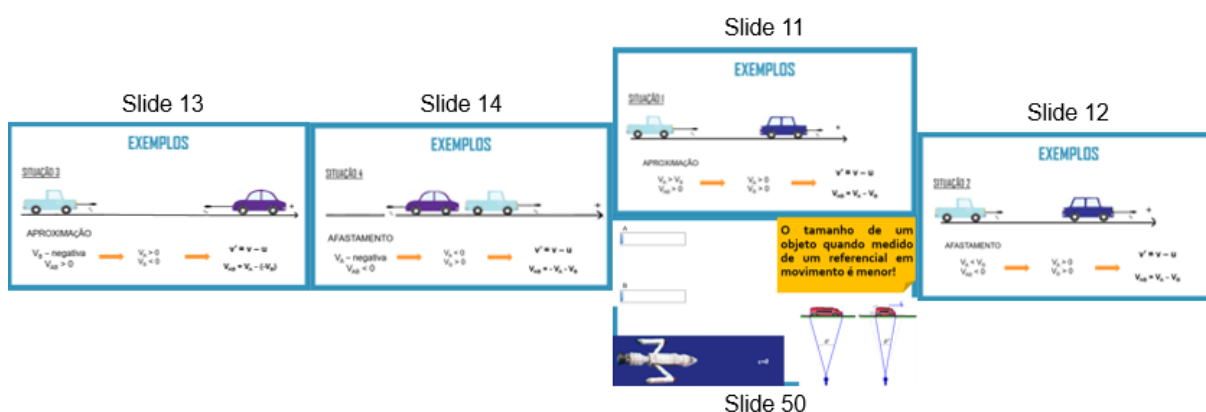
demonstram quais são as simulações mentais que o estudante utiliza para resolver determinado problema.

## Resultados e Discussão

Através das entrevistas realizadas foi possível perceber que os *slides* contribuíram muito na compreensão dos estudantes sobre os fenômenos. Dos 14 estudantes entrevistados, nove mencionaram diretamente os *slides* utilizados, sendo estes exemplares, visto que os outros cinco obtiveram resultados similares, de diferentes níveis de compreensão. Eles afirmaram lembrar de algum slide para responder alguma pergunta dos questionários. Isso indica que eles puderam construir simulações mentais a partir do material e que conseguiram utilizar essas simulações na resolução de problemas.

Entre os slides mencionados pelos estudantes destacam-se o slide 3, que teve 6 menções, o slide 14, tendo 5 menções, os slides 11 e 50, ambos com 4 menções, e o slide 12 com 3 menções. Todos esses slides possuíam objetos em movimento animado, por meio de gifs ou animações. Abaixo, na Figura x, seguem os respectivos slides organizados em ordem decrescente conforme o número de menções.

**Figura 07:** Slides 13, 14, 11, 50 e 12, os mais mencionados pelos estudantes.



Fonte: Os autores (2020).

Serão apresentados aqui três dos estudantes entrevistados, as estudantes A1 e A15 e o estudante A18, que recorrentemente mencionaram os slides além de que apresentaram bons níveis de compreensão.

### Estudante A1

Esta estudante apresentou uma boa compreensão sobre as Transformações Galileu e o movimento relativo. No pré-teste a estudante evidenciava que não compreendia bem a transformação de Galileu nem a de Lorentz. Já após a atividade, seu resultado no pós-teste foi bom.

Quando foi questionada sobre a sua resposta para a questão 5 do questionário, “Na figura, você está no carro cinza. Seu velocímetro mede 40 km/h. Qual é a velocidade de seu carro em relação a um helicóptero voando muito baixo indo na mesma direção que seu carro, com uma velocidade relativa ao solo de 200 km/h?”, onde a estudante havia respondido incorretamente no pré-teste, mas corretamente no pós-teste ela afirmou se lembrar dos *slides* passados em aula. Segue trecho da entrevista com a estudante:

[03:10] A1: Essa primeira aqui como era no pré-teste eu não sabia muito bem fazer, fiz uma regra de três e pronto, deu 20.

E: Aí chegou no valor.

A1: Ok. Aí essa daqui (*pós-teste*) depois eu lembrei daquele negócio dos carrinho, só que eu não sei se eu confundi ou não. Aí eu lembro que eu tentei enxergar se era a mesma direção [#CAR5 03:28] como é que funcionou, daí eu diminuí. Eu lembro que tinha dado diferente dessa daqui (*pré-teste*) ainda quando fiz essa (*pós-teste*), aí eu fiquei assim não muito confiante ainda porque eu não tinha certeza se *tava certo*. Mas aí naqueles slides que tu explicou e coisa, eu tentei imaginar. Só que na hora eu não tinha certeza se na mesma direção era o que diminuía ou somava, mas aí eu botei diminuir e que eu não *tava* muito confiante, mas sabia que era uma das duas regras, por eles tarem na mesma direção.

E: Tu lembrou daí dos slides nessa?

A1: Dos slides da aula.

E: Tu consegue ver qual foi, qual dos slides que tu lembrou?

A1: (*Olha slides impressos*) Foi desses do carrinho sora.

E: Tá, aqui do 11 até o 14.

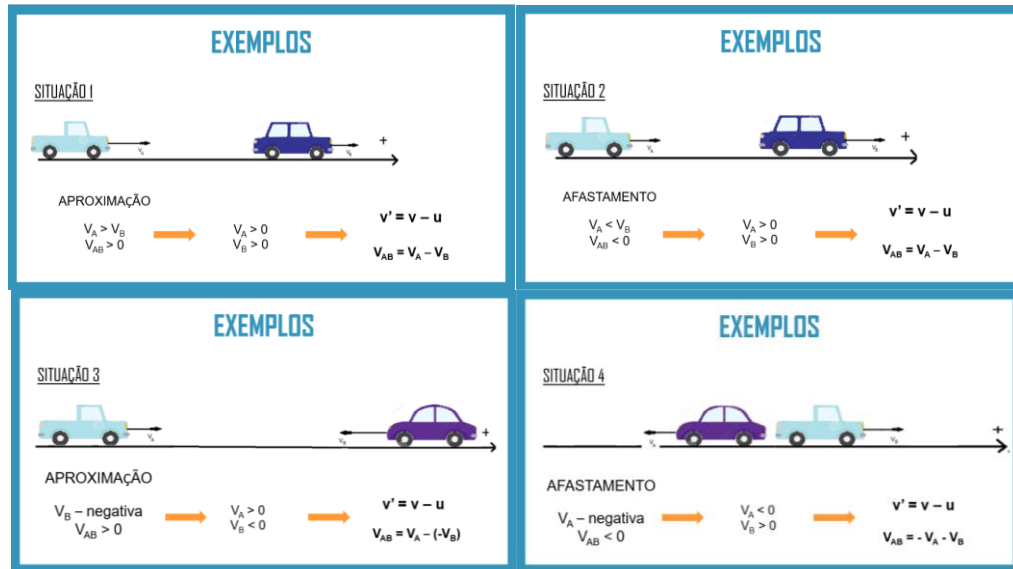
A1: É. Eu tentei lembrar desses aqui, porque eu tinha visto em casa uma coisa num dia que eu *tava* estudando, e aí como aqui (*teste*) tinha né, praticamente igual, eu tentei começar a imaginar os carrinhos que tinham nos slides que tu mandou.

É importante ressaltar que como este estudo é fundamentado no artigo original de Monaghan & Clement (1999), utilizamos um teste semelhante em que ora é questionado a resposta a um problema de velocidade relativa, ora é indagado se o estudante é confiante na sua própria resposta, e isto naturalmente aparece no discurso da estudante A1.

A estudante se recordou dos *slides* 11, 12, 13 e 14 (Figura 08), esses *slides* apresentavam quatro situações sobre velocidade relativa. Em cada slide os carrinhos possuíam uma animação e se moviam no sentido do seu movimento. Também era

apresentado como calcular a velocidade relativa entre eles através das Transformações de Galileu.

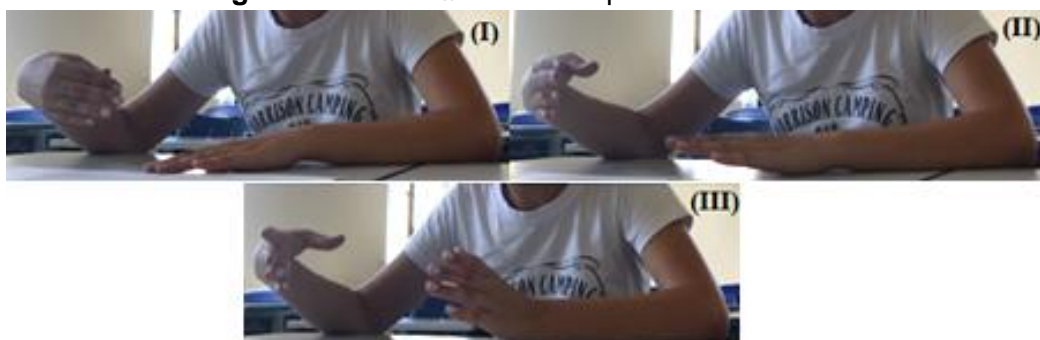
**Figura 08:** Slides 11, 12, 13 e 14, slides demonstrando situações de cálculo da velocidade relativa conforme Galileu, os carros possuem animação e movem-se na direção das flechas.



Fonte: Os autores (2020).

Ademais, a estudante realizou um gesto dinâmico, #CAR5 (Figura 09), indicando a movimentação desses carrinhos. Com esse gesto a estudante representa a movimentação dos carrinhos dos slides 11 e 12, que vão na mesma direção e sentido. O fato dela ter lembrado dos slides e externalizar isso através desse gesto indica que as animações desses slides possibilitaram que a estudante desenvolvesse uma simulação mental e a utilizasse mesmo sem estar vendo os slides para resolver problemas.

**Figura 09:** Gesto #CAR5 feito pela estudante A1.



Fonte: Os autores (2020).



### Estudante A15

A estudante A15 demonstrou ter uma compreensão muito boa das transformações de Lorentz e da Relatividade Especial, tendo um ótimo resultado no questionário de pós-teste, analisando-se, principalmente, em termos qualitativos.

Ao ser questionada sobre sua resposta para a questão 3 do questionário sobre as transformações de Lorentz, “Agora, considerando que o caminhão 1 se movesse com uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), a distância que ele irá percorrer, medida por ele até o caminhão 2 seria”, sendo que a estudante respondeu corretamente “menor que 100 m”, ela mencionou se lembrar dos *slides*. Segue trecho da entrevista:

[16:11] A15: Sim, porque depois que visto em aula, a gente viu que a velocidade podia distorcer a distância, então.

E: E quando tu foi responder aqui no pós-teste, do que tu lembrou pra marcar essa resposta?

A15: Eu não lembro exatamente o que era, mas tu mostrou um slide que se distorcia assim [#NAV 16:34] eu acho. Não sei se era um foguete, que que era.

E: Tu quer olhar aqui? (*Pego os slides impressos*)

A15: Que, conforme tu mexia [#NAV2 16:41] o, o coisinha ele se distorcia assim.

E: Tu quer ver se é algum slide?

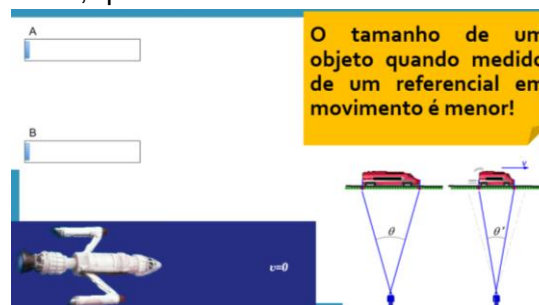
A15: Ou, não sei se era slide ou... Acho que era um satélite, o que era... Acho que era esse aqui, não era esse que se mexia, que distorcia?

E: Sim, era um gif.

A15: É, era esse aí então.

O slide do qual a estudante afirmou se lembrar é o slide 50 (Figura 10), afirmando recordar-se do gif de uma nave utilizado nele. Esse slide aborda a contração espacial e apresenta uma imagem, um pequeno texto e dois gifs animados, sendo um deles um foguete que diminui seu tamanho conforme aumenta sua velocidade.

**Figura 10:** Slide 50, que mostra resumidamente a contração espacial.



Fonte: Os autores (2020).

Além disso, ela também realizou dois gestos dinâmicos, #NAV (Figura 11) e #NAV2 (Figura 12), que indicam a simulação mental que ela utilizou para responder à

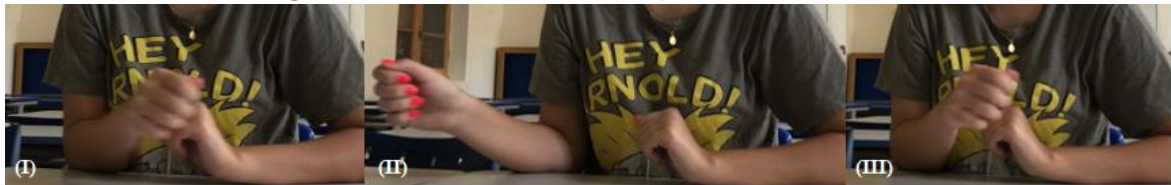
questão. Nesses gestos a estudante indica a nave se movendo e mudando seu tamanho. Com base na entrevista, pode-se concluir que a estudante desenvolveu uma simulação mental a partir do gif animado apresentado no slide e conseguiu utilizar essa simulação posteriormente para resolver um problema.

**Figura 11:** Gesto #NAV feito pela estudante A15.



Fonte: Os autores (2020).

**Figura 12:** Gesto #NAV2 feito pela estudante A15.



Fonte: Os autores (2020).

Vale destacar que, somente com a compreensão de que para certos problemas a Teoria da Relatividade Especial se faz necessária para uma explicação correta, que a estudante pôde ser capaz de desenvolver essa simulação, sendo essa uma predisposição para isto. Essa compreensão se torna viável através da abordagem utilizada do progresso pela resolução de problemas, conforme Laudan (1978).

### **Estudante A18**

O estudante A18 teve um bom desempenho nos questionários em relação às Transformações de Galileu e as Transformações de Lorentz e a Relatividade Especial. Durante a entrevista ele demonstrou ter uma compreensão maior do que a que foi apresentada nos questionários.

Quando foi questionado sobre suas respostas nos questionários para a questão 7, "O caminhão branco está viajando em sua direção. Se o velocímetro do caminhão indicar 40 km/h, qual é a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero?", o estudante afirmou concordar mais com sua resposta do pré-teste, 240 km/h, que é a resposta correta, e disse que se recordou da simulação e dos *slides*. Segue o trecho da entrevista:

[10:14] E: Ok. Lembra mais daí da imagem da simulação?

A18: É, exato, se mexendo e tudo mais. E nos slides também tinha né? Dos [#CAR7 10:20] carros.

E: Tu sabe qual foi o slide?

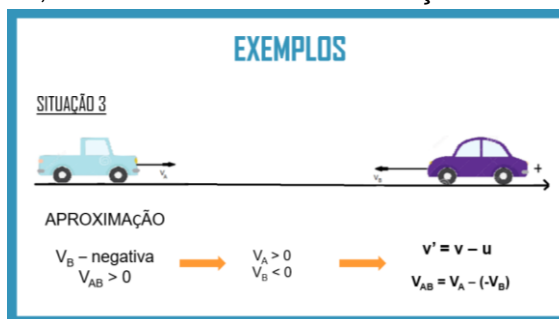
A18: (Olha os slides impressos) Acho que sim, esse aqui, esse ó, o 13.

E: O 13?

A18: Aham. Porque os carros [#CAR7 10:31] tavam indo sabe na mesma direção, aham.

O estudante A18 afirmou que se recordou do slide 13 (Figura 13), assim como a estudante A1. Nesse slide, como mencionado anteriormente, os carrinhos possuíam uma animação e se moviam no sentido do movimento, além de mostrar o cálculo da velocidade relativa.

**Figura 13:** Slide 13, mostra uma situação de cálculo da velocidade relativa conforme Galileu, os carros movem-se na direção das flechas.



Fonte: Os autores (2020).

Além de se recordar do slide, o estudante realizou um gesto dinâmico, #CAR7 (Figura 14), que indica a movimentação dos carrinhos no slide. Portanto, é possível concluir que o estudante conseguiu produzir uma simulação mental a partir da animação do slide. O fato de ele ter lembrado no momento de responder o questionário mostra que ele pode utilizar essa simulação mental mesmo sem a presença dos *slides* para resolver um problema.

**Figura 14:** Gesto #CAR7 feito pelo estudante A18.



Fonte: Os autores (2020).

Em outro momento, agora ao ser questionado sobre sua resposta para a questão 3 no pós-teste de Lorentz, “Dois caminhões estão em uma mesma estrada, em sentidos opostos, conforme a figura. A distância entre eles é de 100 m. O caminhão 2 está parado devido a um problema no motor. Agora, considerando que o caminhão 1 se movesse com uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), a distância que ele irá percorrer, medida por ele até o caminhão 2 seria”, que estava correta, o estudante novamente afirma se recordar dos *slides*. Segue o trecho da entrevista:

[17:32] E: E aqui (*pós-teste*) o que tu lembrou para colocar essa resposta?

A18: Ah... A gente já tinha visto os slides?

E: Sim.

A18: Então eu lembrei do, dos slides lá, eu lembro que tinha um espaçonave e tudo mais. O que mais me marcou foi o da espaçonave que ela ia [#NAV4 17:50] diminuindo na... E acredito que eu tenha pensado nele, porque então [#NAV4 18:14] o tamanho dela diminuiu quanto mais rápido ela tava, então quanto mais rápido ele tava, menor seria o caminho.

E: Sim. Tu, tu consegue ver qual é o slide da espaçonave?

A18: Sim (*Olha slides impressos*). É... Esse aqui eu acho, esse 50.

E: O 50?

A18: Acho que era esse, que ela se mexia né?

E: Sim. Era um gifzinho.

A18: Aham. Foi esse.

E: Então tu lembravamais da imagem dessa nave?

A18: Aham. Que ela vinha [#NAV4 18:48] e chegava a sumir assim de tão pequena que ela ficava.

Nesse momento o estudante A18 se recordou do slide 50 (Figura 10), assim como a estudante A15. Como mencionado anteriormente, o slide trata da contração do espaço apresentando um pequeno texto, uma imagem e dois gifs animados, um deles é o foguete que diminui seu tamanho conforme sua velocidade aumentava, do qual os estudantes lembraram.

Neste momento, novamente o estudante reproduz um gesto dinâmico, #NAV4 (Figura 15), onde representa o gif animado da nave encolhendo. Aqui novamente é possível perceber que os *slides* auxiliaram o estudante a desenvolver uma simulação mental, e que o estudante pôde acessar essa simulação mesmo sem a presença dos *slides* para resolver um problema.

**Figura 15:** Gesto #NAV4 feito pelo estudante A18.



Fonte: Os autores (2020).

Assim como a estudante A15, este estudante foi capaz de perceber a necessidade da utilização da Teoria da Relatividade Especial para a resolução de um problema que não seria possível com a Relatividade de Galileu. Salienta-se, novamente que, a viabilidade dessa compreensão se dá por meio da abordagem utilizada do progresso pela resolução de problemas, conforme Laudan (1978).

### **Considerações finais**

A partir dos resultados obtidos através das entrevistas pode-se concluir que o produto didático, ou seja, o conjunto de *slides* utilizado durante as aulas foi eficiente em fomentar a construção de simulações mentais pelos estudantes. Esse resultado fica explícito com a análise das entrevistas dos três estudantes apresentados no presente artigo.

Dessa forma, conclui-se que a utilização de gifs animados, animações e vídeos pode ser muito útil a fim de facilitar a compreensão dos estudantes sobre fenômenos estudados em aula. Entretanto, vale destacar que, a organização de como essas informações são passadas e abordadas também constitui fator fundamental no processo. Assim sendo, a organização desses recursos na apresentação de *slides* se torna necessária.

Através dos recursos utilizados e da maneira como foram utilizados os estudantes podem desenvolver suas simulações mentais e acessá-las em outros momentos, permitindo que consigam resolver problemas com maior facilidade, ou até mesmo resolver situações que não conseguiriam sem elas.

Além disso, com o material apresentado é possível trabalhar a Teoria da Relatividade através de uma visão epistemológica muito rica, trazendo os acontecimentos históricos que culminaram com o seu desenvolvimento. Atividades com esse teor são cada vez mais necessárias em sala de aula, para que seja desenvolvida uma visão mais ampla e rica pelos estudantes a respeito da natureza da ciência.

De uma forma sucinta, analisando os três casos apresentados, pode-se afirmar que o desenvolvimento de simulações mentais levou ao desenvolvimento de modelos mentais que fazem com que fenômenos relativísticos como a dilatação temporal e contração espacial sejam compreendidos e aceitos pelos estudantes, mesmo sendo anomalias – na acepção de Laudan – de sua visão de mundo clássica galileana.

Fazendo-os não abandonar a visão anterior, mas tendo modelos internos capazes de assimilar os fenômenos relativísticos dentro de sua visão de mundo.

Por fim, salienta-se que as abordagens aqui utilizadas não se restringem somente à temática da Teoria da Relatividade, podem ser aplicadas para outros campos da Física, até mesmo da Química ou Biologia.

### **Agradecimento**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio no subsídio desta pesquisa.

## Referências

- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Brasília, **Parâmetros Curriculares Nacionais: Física**. Brasília: MEC/SEMTEC, 1998.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2018.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.
- CLEMENT, J. J. Use of Physical Intuition and Simulation in Expert Problem Solving. **Human Development**, v. 6, n. 1, pp. 204-244, 1994.
- CLEMENT, J. J.; STEINBERG, M. S. Step-wise evolution of mental models of electric circuits: a “learning-aloud” case study. **Journal of Learning Sciences**, v. 11, n. 4, pp. 389-452, 2002.
- FREZZA, J. S. **Construção de Modelos e Teorias Físicas: da Mecânica Clássica de Newton à Mecânica Relativística de Einstein**. 2015, 95 f. Tese (Doutorado em Educação), Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.
- HAWKING, S. Uma Breve História do Tempo. 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2015. Traduzido de *A Brief History of Time*, 1988, por Ângelo Lessa.
- LAUDAN, L. “O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico”. Editora Unesp, São Paulo, 2011. 352 p.
- MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921-944, 1999.
- MONÇORES, E. O. **Uma Proposta para Facilitar a Prática Docente no Ensino da Teoria da Relatividade Especial no Ensino Médio**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2014.
- NOGUEIRA, B. M.; BÓ, A. D.; ESTIVALET, A.; COSTA, D. Fatores de Desinteresse e a Experimentação no Ensino de Ciências da Natureza. XV Encontro sobre Investigação na Escola, Porto Alegre, julho de 2018.
- SILVA, Boniek Venceslau de Cruz. A natureza da ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 4, n. 3, 620-627, setembro de 2010.
- STEPHENS, A. L.; CLEMENT, J. J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics: physics education research**, College Park, v. 6, n. 2, p. 20122/1-20122/15, 2010.
- STEPHENS, A. L.; CLEMENT, J. J. Use of physics simulations in whole class and small group settings: Comparative case studies. **Computers & Education**, v. 86, n. 86, 137-156, 2015

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2<sup>o</sup> grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, 209-214, dezembro de 1992. D

TREVISAN, R.; SERRANO, A.; WOLFF, J. F. S.; RAMOS, A. F. Peeking into their mental imagery: The Report Aloud technique in science education research. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 25, n. 3, 647-664, novembro, 2019.

VIZZOTTO, Patrick A.; MACKEDANZ, Luiz F. Alfabetização científica e a Contextualização do conhecimento: um estudo da Física aplicada ao trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. 1, 2020.

Recebido em: 28/04/2020

Aprovado em: 12/12/2020