

REPRESENTAÇÕES MENTAIS DE RELATIVIDADE ESPECIAL: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DA TEORIA DA CODIFICAÇÃO DUAL

Maira Giovana de Souza ¹
Juliana Rodrigues dos Anjos ²
Agostinho Serrano ³

RESUMO

As temáticas de Física Moderna são de grande importância para a formação cidadã dos estudantes, entre elas está a Teoria da Relatividade Especial (TRE). Entretanto, essa teoria não é usualmente abordada na Educação Básica, devido à grande dificuldade no ensino de Relatividade. Para a compreensão da TRE, a construção de representações mentais, tanto proposicionais quanto imagísticas, é necessária, caracterizando uma codificação dual de informações. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta e discute parte dos resultados obtidos através de uma pesquisa de mestrado realizada com o intuito de analisar o processo de aprendizagem da TRE e a construção dessas representações mentais por alunos do Ensino Médio. Para isso, atividades foram realizadas com 82 estudantes de uma escola pública durante as aulas de Física, onde os estes interagiram com vídeos, gifs, animações e simulações computacionais ilustrando os efeitos relativísticos. Foram aplicados questionários de pré-teste e pós-teste e 14 alunos foram selecionados para entrevistas individuais. As entrevistas foram realizadas através do protocolo Report Aloud, onde o estudante relata quais foram seus processos cognitivos durante a realização das atividades. As entrevistas foram gravadas em vídeo e transcritas para posterior análise textual e Análise Gestual Descritiva, a fim de extrair as representações proposicionais e imagísticas construídas. Apresenta-se os resultados de alguns estudantes exemplares onde percebe-se a presença das duas formas de representação no processo de compreensão da TRE. Destaca-se uma conexão entre as representações proposicionais e a compreensão da dilatação temporal, assim como uma conexão entre as representações imagísticas e a compreensão da contração espacial. Os resultados vão ao encontro do que é proposto pela Teoria da Codificação Dual, visto que os estudantes necessitaram do desenvolvimento de representações mentais através dos dois sistemas de codificação de informação para que possam compreender a teoria.

Palavras-chave: Relatividade Especial, Representações Mentais, Codificação Dual, Ensino de Física.

INTRODUÇÃO

Apesar da importância da ciência para a sociedade, é perceptível que existe um desinteresse dos estudantes pela mesma (FOUREZ, 2003). Além disso, tratando-se da disciplina de Física, que é usualmente apresentada de forma teorizada e matemática (CIMA et

¹ Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, maira.souza@rede.ulbra.br;

² Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, juranjos@rede.ulbra.br;

³ Professor orientador: Doutor em Física pela Universidade de São Paulo - USP, Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, agostinho.serrano@ulbra.br.

al., 2017), esse desinteresse é potencializado. Destaca-se, portanto, a necessidade de se aproximar os tópicos abordados em sala de aula ao contexto e realidade dos estudantes, para que compreendam a Física – e a ciência – como mais próxima deles.

Destarte, a abordagem de tópicos de interesse espontâneo dos estudantes, como as temáticas de Física Moderna (HENRIKSEN et al., 2014) e, entre elas, a Teoria da Relatividade de Einstein (CHRISTENSEN; MOORE, 2012), se mostra uma alternativa promissora para promover essa aproximação. Tais temáticas propiciam novas perspectivas de mundo para os estudantes, permitindo sua participação cidadã na sociedade (OSTERMANN; FERREIRA; CAVALCANTI, 1997), além de estarem presentes em tecnologias com as quais os jovens se deparam cotidianamente (ASSUNÇÃO; NASCIMENTO, 2019).

Entretanto, apesar de sua relevância, percebe-se a ausência da Física Moderna em sala de aula (PITTS et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2018), bem como um número limitado de trabalhos na área que tragam relatos e/ou resultados de aplicações educacionais (KIKUCHI; ORTIZ; BATISTA, 2013). Assim sendo, são necessárias propostas que tragam possibilidades e resultados da abordagem de Física Moderna na educação básica. Nesse contexto insere-se a presente pesquisa, que traz uma análise de resultados após a abordagem da Teoria da Relatividade Especial (TRE) com estudantes de terceiro ano do Ensino Médio.

Vale ressaltar que os efeitos relativísticos não são diretamente perceptíveis no cotidiano, além de entrarem em conflito com diversas perspectivas e fortes crenças atreladas ao do senso comum dos estudantes. Ademais, dada a complexidade da TRE, entende-se que esta requer grande capacidade abstração dos estudantes, gerando obstáculos para sua compreensão, visto que eles não conseguem facilmente imaginar situações relativísticas (KIZILCIK; ÜNLU YAVAS, 2017; ÜNLU YAVAS & KIZILCIK, 2016; VELENTZAS; HALKIA, 2013).

Assim sendo, entende-se que, para que os estudantes possam de fato compreender a teoria em questão, seja necessária a construção de representações mentais por eles, facilitando a visualização dos fenômenos estudados e compreensão de seus efeitos e consequências. Essas representações podem ser construídas através de proposições (verbais) ou de forma imagística (não-verbais), sendo influenciadas pelos estímulos utilizados (PAIVIO, 1986).

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo identificar e analisar as representações mentais desenvolvidas pelos estudantes após terem contato com a TRE. Para tanto, foram desenvolvidas atividades contendo diferentes recursos que estimulassem a construção de tais representações por eles. Os resultados que serão apresentados e discutidos aqui fazem parte de uma pesquisa de mestrado que foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil (SOUZA, 2021).

REPRESENTAÇÕES MENTAIS NA TEORIA DA CODIFICAÇÃO DUAL

No estudo de representações mentais, existem diversas perspectivas que podem ser adotadas. Para o presente trabalho, foram utilizadas as ideias propostas pela Teoria da Codificação Dual (TCD) de Allan Paivio (1986). Conforme a TCD, dois sistemas de codificação – um verbal, proposicional, e outro não-verbal, imagístico – são utilizados pelos indivíduos em sua cognição. Paivio (1986) destaca que:

As representações estruturais da teoria da codificação dual referem-se a informações da memória de longo prazo relativamente estáveis correspondentes a objetos e atividades perceptualmente identificáveis, tanto verbal e não-verbalmente (PAIVIO, 1986, p. 54).

Assim sendo, as representações mentais são originadas através de experiências perceptuais externas e armazenadas em estruturas representacionais com modalidades específicas: os *logogens*, através dos sistemas simbólicos verbais; e os *imagens*, através das imagens e recursos visuais (PAIVIO, 1986).

Salienta-se que estes sistemas são independentes, ou seja, podem ser ativados individualmente ou em conjunto, além de funcionalmente e estruturalmente distintos. De um lado, um sistema administra a geração de imagens mentais, processando informações e representações não-verbais, de outro, um sistema processa as proposições lidando com a linguagem. Portanto, um indivíduo necessita da utilização dos dois sistemas de codificação para obter uma compreensão completa de um fenômeno.

Destaca-se que a natureza dos estímulos externos com os quais os indivíduos têm contato modifica a probabilidade de qual tipo de representação será construída e qual sistema será ativado, verbal ou não-verbal. Existe uma relação entre a ativação das representações verbais, ou proposicionais, e conceitos mais abstratos, bem como entre estímulos concretos e representações não-verbais, ou imagísticas. Com sua teoria, Paivio (1986) espera propiciar uma melhor compreensão das habilidades cognitivas diferenciadas dos indivíduos.

Nesse sentido, através das atividades desenvolvidas com os estudantes buscou-se utilizar recursos variados que estimulassem a construção dessas representações mentais por eles. Durante a análise dos resultados aqui apresentada, buscou-se a identificação da presença de representações mentais, tanto não-verbais, na forma de imagens e/ou simulações verbais, quanto verbais, através de proposições, isto é, estruturas de sentenças lógicas interconectadas.

METODOLOGIA

As atividades de pesquisa foram desenvolvidas com 82 estudantes do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede estadual de ensino em Montenegro/RS, no segundo semestre de 2019, durante as aulas curriculares de Física, antes da pandemia de Covid-19. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da ULBRA (CAAE: 19112619.0.0000.5349) e os estudantes, ou seus responsáveis quando menores de idade, assinaram aos termos de consentimento para participação na pesquisa.

Primeiramente os estudantes responderam a um questionário de pré-teste, e então as atividades foram iniciadas. Foi abordada desde a Relatividade de Galileu até a Relatividade Especial de Einstein, tratando, principalmente, da dilatação temporal e contração espacial. Diferentes recursos foram utilizados, entre eles, uma apresentação de slides – contendo vídeos, imagens, gifs e animações –, simulações computacionais tratando da relatividade galileana, da dilatação temporal e da contração espacial, e maquetes com representações gráficas.

Após a finalização das atividades, os estudantes responderam ao mesmo questionário inicial, na forma de pós-teste. A partir dos resultados dos testes, buscando uma amostra variada, 14 alunos foram selecionados para que entrevistas individuais fossem realizadas pela pesquisadora. A pauta das entrevistas foram as atividades, com foco nas respostas dos questionários, e estas foram realizadas através do protocolo *Report Aloud* (TREVISAN, et al., 2019) através de um diálogo constante com o estudante sobre o que este pensou e do que se recordou ao realizar determinada atividade, buscando compreender seus processos cognitivos.

Todas as entrevistas foram gravadas em vídeo para posterior análise do discurso dos estudantes, buscando identificar as representações verbais, e realização da Análise Gestual Descritiva (CLEMENT, 1994; MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT, 2010), a fim de identificar as representações não-verbais. Essa análise qualitativa objetiva identificar padrões de gestos descritivos que foram realizados pelos estudantes, partindo da premissa de que existe um vínculo entre esses gestos e as representações mentais imagísticas.

Para que a análise gestual seja realizada, utilizam-se indicadores, como as movimentações das mãos dos estudantes ao explicarem como chegaram em determinada resposta do questionário. De acordo com Clement (1994), os gestos descritivos podem estar ligados às imagens mentais dinâmicas, tratando de situações de movimento, ou estar relacionados às imagens mentais estáticas, ao representarem algo parado.

Os gestos descritivos, portanto, são uma forma de o estudante externalizar o que pensa no momento, indicando suas representações mentais (MONAGHAN; CLEMENT, 1999). Deste

modo, através da interpretação de tais gestos tem-se uma rica fonte de informações não detectáveis através do diálogo ou escrita. Tais gestos apresentam linguagem própria, visto que expressam o que o estudante não consegue por meio de sua linguagem verbal.

Portanto, durante a análise dos resultados da presente pesquisa, buscou-se identificar esses gestos descritivos buscando indicações das representações mentais construídas pelos estudantes para a compreensão dos fenômenos abordados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise dos resultados foi possível identificar a presença tanto de representações verbais, proposicionais, quanto de representações não-verbais, imagísticas. As representações verbais puderam ser constatadas quando os estudantes lidavam com o fenômeno da dilatação temporal, enquanto as representações não-verbais emergiram tratando-se do fenômeno da contração espacial. A seguir serão apresentados os resultados de alguns estudantes exemplares no tocante tanto à dilatação temporal quanto à contração espacial.

REPRESENTAÇÕES VERBAIS E DILATAÇÃO TEMPORAL

Como mencionado anteriormente, através dos resultados analisados notou-se a presença de representações verbais, ou proposicionais, quando os estudantes lidavam com o fenômeno da dilatação temporal. Nesse sentido, serão apresentados aqui os resultados de dois estudantes ao discorrerem sobre suas respostas para as questões 5 e 7 dos testes, que tratam desse fenômeno.

No teste, era proposta a situação de duas amigas, onde uma delas embarcava em uma viagem de cruzeiro, enquanto a outra aguardava por terra. Afirmava-se que, para a amiga que ficou em terra a duração da viagem teria sido de um ano, e questionava-se sobre essa duração para a outra amiga quando o navio viajou a 56 km/h (questão 5) e depois a $0,7c$ (questão 7).

Discorrendo sobre suas respostas para as duas questões, que estavam corretas, o estudante A18 demonstrou compreender o fenômeno da dilatação temporal, conforme o trecho a seguir:

A18: Foi isso que eu pensei, aqui [questão 5] eu pensei 50 km/h [56 km/h] é irrelevante pra mudar o tempo, agora, tipo, chegar perto da velocidade da luz, daí já é uma velocidade muito maior, então *pode, tipo, diminuir o tempo*. Foi por isso que eu mudei, eu tinha marcado aqui [questão 5] menor que um ano, só que chegou aqui [questão 7] $0,7c$, então é uma, uma velocidade muito maior, então, tipo, isso vai ser relevante e 50 km/h não.

O estudante afirma que na questão 5, velocidade de 56 km/h, a diferença nos intervalos de tempo seria irrelevante, enquanto na questão 7, velocidade de $0,7c$, não. Isso indica uma compreensão da relação do fenômeno da dilatação temporal com a velocidade do referencial. Ao ser questionado sobre o que se recordou ao responder à questão o estudante lembra do paradoxo dos gêmeos:

A18: Eu pensei principalmente no, *na história dos gêmeos né*. Num exemplo, ou exercício, eu não lembro, que, que um deles ia pro espaço e outro não, e aí voltava mais novo. Era um exercício né.

Conforme o trecho, o estudante recorda-se de uma “história”, uma situação que foi apresentada e discutida em aula através da resolução de um exercício. Isso sugere que A18 compreendeu corretamente a dilatação temporal com a utilização de uma estrutura de sentenças lógicas interconectadas construídas a partir de situações prévias, diálogos com os colegas e a professora-pesquisadora, experiências perceptuais externas, envolvendo a dilatação temporal.

Ademais, o estudante não realizou gestos descritivos (CLEMENT, 1994; MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT, 2010) nessa parte da entrevista, indicando a ausência de representações imagísticas. Essas são indicações de que esse estudante pôde construir uma representação verbal (PAIVIO, 1986), ou proposicional, para o fenômeno da dilatação temporal.

Explicando sua resposta para a questão 7 do teste, a estudante A14 apresentou resultados similares aos do estudante A18. Sendo questionada sobre a diferença nos intervalos de tempo para as duas amigas, a estudante afirmou:

A14: Acho que seria bem maior, tipo, mais de ano de diferença. [...] De uma pra outra.

E: E se fosse $0,5c$?

A14: É, eu acho *que a diferença ia ser um pouco menor, porque a velocidade não é tão alta*.

E: E nessa questão do tempo, quando tu pensa nessa relação da velocidade com o tempo, que imagem que te vem na tua cabeça?

A14: Eu acho que também a questão do foguetinho sobre os irmãos, *porque o irmão que tinha ido viajar era mais novo que o irmão que tinha ficado na Terra*, no caso eles eram gêmeos né. E daí é isso que eu associo.

Assim como A18, no trecho percebe-se que a estudante A14 conseguiu compreender o fenômeno da dilatação temporal e sua relação com a velocidade do referencial. Ademais, quando questionada sobre o que recordou ao responder a referida questão, A14 afirma se recordar “sobre os irmãos”, paradoxo dos gêmeos, e verbaliza essa situação que foi discutida em aula. Logo, percebe-se indicações de que essa estudante utilizou recursos verbais (PAIVIO, 1986) na forma de proposições para tratar da dilatação temporal.

Ademais, durante estes momentos da entrevista não houve a realização de gestos descritivos (CLEMENT, 1994; MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT,

2010) pela estudante, indicando a ausência de representações mentais imagísticas. Portanto, essa estudante conseguiu responder corretamente, tanto no teste quanto na nova situação proposta na entrevista, transpondo a situação do paradoxo dos gêmeos discutida em aula, ou seja, utilizando sentenças lógicas interconectadas na forma de representações proposicionais.

Percebe-se que ambos os estudantes, A18 e A14, apresentaram evidências que sugerem a construção de representações mentais verbais com relação à dilatação temporal. Esse resultado está em concordância com o proposto pela TCD (PAIVIO, 1986), visto que o conceito de tempo é bastante abstrato, fomentando a utilização do sistema de codificação verbal, através de *logens*.

Além disso, os dois estudantes, aparentemente, construíram suas representações mentais a partir do paradoxo dos gêmeos discutido em sala de aula, sugerindo uma conexão entre os recursos didáticos utilizados e a construção de tais representações. Salienta-se também que, visto que os estudantes possuem dificuldades em lidar com os efeitos relativísticos (KIZILCIK; ÜNLU YAVAS, 2017; ÜNLU YAVAS & KIZILCIK, 2016; VELENTZAS; HALKIA, 2013), a construção dessas representações se mostra necessária para que possam compreender a TRE.

REPRESENTAÇÕES NÃO-VERBAIS E CONTRAÇÃO ESPACIAL

A presença de representações mentais não-verbais, ou imagísticas, quando os estudantes tratavam do fenômeno da contração espacial foi percebida através da análise dos resultados, como destacado anteriormente. A seguir são discutidos os resultados de dois estudantes relacionados às questões 1 e 3 dos testes, tratando do referido fenômeno.

Apresentava-se no teste a situação em que um caminhão estava em repouso em relação à estrada enquanto outro caminhão se aproximava dele. Trazia-se que a distância medida pelo caminhão em repouso era de 100 m e questionava-se sobre a distância que seria medida pelo caminhão que se aproxima, com ele estando a 80 km/h (questão 1) e depois a $0,7c$ (questão 3).

Explicando suas respostas para ambas as questões, que estavam corretas, o estudante A18 demonstrou indicações de imagens mentais nítidas:

A18: Então eu lembrei do, dos slides lá, *eu lembro que tinha uma 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 nela, porque então [#NAV4 18:14] o tamanho dela diminuiu quanto mais rápido ela tava, então quanto mais rápido ele [*caminhão*] tava, menor seria o caminho.

Esse estudante demonstrou possuir imagens mentais nítidas, ou seja, representações não-verbais (PAIVIO, 1986), ao tratar da situação proposta. Conforme sua descrição, o estudante imagina uma nave se movendo e encolhendo conforme sua velocidade aumenta. A nave descrita

por ele e seus gestos descritivos se assemelha a um gif utilizado nos slides durante as atividades, ao qual o estudante se referiu diretamente. Entende-se que o estudante conseguiu transpor a situação representada pelo gif para a questão do teste, afirmando que quanto maior a velocidade do caminhão menor seria a distância medida.

Figura 1: Gesto #NAV4 realizado pelo estudante A18 (a esquerda) e gif da nave utilizados nos slides em dois momentos (a direita).



Fonte: A pesquisa (2022).

O gesto #NAV4 (Figura 1) realizado pelo estudante, onde ele coloca as duas mãos separadas à sua frente, então aproxima a mão esquerda da direita, indicando o tamanho da nave do gif que diminui, reforça essa ideia de sua representação mental imagística (CLEMENT, 1994; MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT, 2010). Esse gesto sugere que, a partir dos materiais utilizados em aula, ele foi capaz de desenvolver e reproduzir uma representação mental não-verbal, além de utilizá-la na resolução de problemas.

Em outro momento, o estudante é questionado sobre como seria a situação caso o caminhão se movesse a uma velocidade diferente, de $0,2c$. E, novamente, ele demonstra utilizar a mesma representação mental para resolver a nova situação proposta:

A18: Daí ficaria [a distância] entre a 1 e a 3 [questões], eu acho.

E: E tu imaginas isso?

A18: Sim, eu imagino [#NAV4 20:09] o caminho literalmente diminuindo sabe, como se fosse no gif, só que daí o caminho e não a espaçonave né.

Nesse trecho é possível notar mais evidências da utilização de uma representação mental imagística (PAIVIO, 1986) para tratar da situação, uma vez que o estudante repete o gesto descritivo #NAV4 (Figura 1) ao discorrer sobre o caminho do caminhão diminuindo. Além disso, o próprio estudante refere-se a imaginar esse caminho diminuindo, indicando a presença de imagens mentais.

De forma semelhante ao estudante A18, a estudante A15 também apresentou indícios da utilização de representações mentais imagísticas. Discorrendo sobre sua resposta, que estava correta, para a questão 3, eles são apresentados:

A15: A gente viu que a velocidade podia distorcer a distância, então.

E: Quando tu foste responder no pós-teste, do que tu lembraste?

A15: Eu não lembro exatamente o que era, mas tu mostrou um slide que se distorcia eu acho. Não sei se era um foguete, o que que era. [...] Que, conforme tu mexia [#NAV2 16:41] o, o coisinha ele se distorcia assim.

Percebe-se no trecho que, enquanto afirma se recordar dos slides das atividades, a estudante realiza um gesto descritivo, #NAV2 (Figura 2) em que move sua mão direita para o lado esquerdo, direito e esquerdo novamente, indicando a mudança no tamanho do foguete que menciona (CLEMENT, 1994; MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT, 2010). Esse é um indicativo de que a estudante está utilizando representações mentais imagísticas para lidar com a situação proposta.

Figura 2: Gesto #NAV2 realizado pela estudante A15.



Fonte: A pesquisa (2022).

Esse gesto assemelha-se ao realizado pelo estudante A18 pois também trata da mudança de tamanho de uma nave ou foguete ao se movimentar em diferentes velocidades. Portanto, o gesto descritivo sugere que a estudante tenha construído uma representação mental não-verbal (PAIVIO, 1986), imagística, a partir do mesmo gif que A18, visto que a própria estudante menciona os slides das aulas, e que tenha utilizado essa representação para resolver um problema proposto.

Através da análise desses dois estudantes, foi possível identificar indicadores através de seu discurso e, principalmente, de seus gestos descritivos (CLEMENT, 1994; MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT, 2010) da presença de representações mentais não-verbais, imagísticas, ao lidar com a contração espacial. Esse resultado vai ao encontro da TCD (PAIVIO, 1986), dado que se trata de um conceito de grande concreticidade, o espaço, favorecendo a utilização do sistema de codificação não-verbal, por meio de *imagens*.

Também se percebe uma relação entre a representação construída e um gif utilizado nas atividades de uma nave encolhendo à medida que aumenta sua velocidade, tanto para A18 quanto para A15. Destaca-se, portanto a importância desse tipo de recurso facilitando a visualização do fenômeno pelos estudantes, que usualmente apresentam dificuldades em imaginá-lo (KIZILCIK; ÜNLU YAVAS, 2017; ÜNLU YAVAS & KIZILCIK, 2016; VELENTZAS; HALKIA, 2013), e fomentando a construção dessas representações mentais para a compreensão da TRE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho destaca a inserção de temáticas de Física Moderna, em especial a Teoria da Relatividade Especial (TRE), na educação básica. Dada a complexidade da teoria e as dificuldades apresentadas pelos estudantes para compreendê-la, buscou-se desenvolver atividades com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio que estimulassem a construção de representações mentais, verbais e não-verbais (PAIVIO, 1986), sobre os fenômenos estudados, entendendo que estas auxiliariam no seu processo de compreensão.

Através da análise dos resultados, por meio das gravações das entrevistas, foi possível identificar indicações tanto da presença de representações mentais verbais quanto não-verbais na estrutura cognitiva daqueles estudantes que demonstraram melhor compreender a teoria. Esse resultado vai ao encontro do proposto pela Teoria da Codificação Dual (PAIVIO, 1986), que afirma que a utilização dos dois sistemas para codificação de informações para um mesmo tópico, nos presentes resultados através da construção das duas formas de representação mental, contribui para a melhor compreensão dele.

Percebeu-se que as representações não-verbais, proposicionais, estavam presentes nas situações relacionadas ao fenômeno da dilatação temporal. Por tratar-se de um conceito abstrato, o tempo, é esperada a utilização de um sistema de codificação verbal para este. Já as representações não-verbais, imagísticas, se fizeram presentes nas situações relacionadas à contração espacial, visto que se trata de um conceito concreto e mais passível de ser visualizado (PAIVIO, 1986).

Além disso, foi possível perceber uma relação entre as representações mentais construídas pelos estudantes e os recursos utilizados durante as atividades desenvolvidas. As representações verbais para a dilatação temporal estavam associadas a uma situação discutida em aula, do paradoxo dos gêmeos. Já as representações não-verbais para a contração espacial tinham uma conexão com um gif de uma nave encolhendo à medida que aumentava sua velocidade, que foi utilizado na apresentação de slides.

Esses resultados destacam a importância de recursos que possibilitem sua visualização e fomentem a construção de representações mentais pelos estudantes, evidenciando a dificuldade destes em imaginar as situações relativísticas (KIZILCIK; ÜNLU YAVAS, 2017; ÜNLU YAVAS & KIZILCIK, 2016; VELENTZAS; HALKIA, 2013), necessitando desses estímulos externos.

Os resultados aqui apresentados demonstram a importância do estudo das representações mentais construídas pelos estudantes no processo educativo, bem como da utilização de



recursos que estimulem sua construção. Esse estudo pode ser estendido para outras temáticas de Física Moderna, bem como para outras áreas de ensino, buscando contribuir na compreensão dos processos cognitivos dos estudantes ao longo de sua aprendizagem. Espera-se que o presente trabalho contribua como fomento ao ensino da Teoria da Relatividade Especial na Educação Básica, bem como de outras temáticas de Física Moderna, igualmente complexas.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo subsídio à pesquisa, código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, T. V.; NASCIMENTO, R. R. Alfabetização científica e a academia: um olhar sobre o ensino de física moderna e contemporânea na educação básica. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 10, n. 3, 2019.

CIMA, R. C. et al. Redução do interesse pela Física na transição do ensino fundamental para o ensino médio: A perspectiva da supervisão escolar sobre o desempenho de professores. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 16, n. 2, p. 385-409, 2017.

CHRISTENSEN, N.; MOORE, T. Teaching general relativity to undergraduates. **Physics Today**, n. 65, n. 6, 2012.

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.; STEPHENS, A. L. Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students. **Physics Education Research**, v. 6, n. 2, p. 20122–1 – 20122–15, 2010.

DIMITRIADI, K.; HALKIA, K. Secondary Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 16, p. 2565-2582, 2012.

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

HENRIKSEN, E. K.; BUNGUM, B.; ANGELL, C.; TELLEFSEN, C. W.; FRAGAT, T.; BOE, M. V. Relativity quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: challenges, opportunities and proposed approaches. **Physics Education**, v. 49, n. 6, 2014.

KIKUCHI, Ligia Ayumi; ORTIZ, Adriano José; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito



do assunto. In: MARTINS, Isabel; GIORDAN, Marcelo. (eds.) Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, ABRAPEC: Águas de Lindóia, 2013.

KIZILCIK, H. S.; ÜNLU YAVAS, P. Investigating the Reasons of Difficulty Understanding of Students in Special Relativity Topics. **Journal of Faculty of Education, University of Çukurova**, v. 46, n. 2, p. 399-426, 2017.

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.

PAIVIO, A. *Mental Representations: a dual coding theory approach*. 1 ed. New York: **Oxford University Press**, 1986.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

PITTS, M.; VENVILLE, G.; BLAIR, D.; ZADNIK, M. An Exploratory Study to Investigate the Impact of an Enrichment Program on Aspects of Einsteinian Physics on Year 6 Students. **Research in Science Education**, v. 44, n. 1, p. 363-388, 2014.

SIQUEIRA, M.; MONTANHA, L.; BATISTA, C. A.; PIETROCOLA, M. Obstáculos didáticos na inserção de Física Moderna e Contemporânea: um olhar a partir da formação de professores. *Revista Tecné*, **Episteme y Didaxis**, n. extraordinário, 2018.

SOUZA, M. G. **Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais e concepções de estudantes do Ensino Médio sobre relatividade especial**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, ULBRA, Canoas.

STEPHENS, A. L.; CLMENT, J. J. Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students. **Physics Education Research**, v. 6 n. 2, pp. 20122-1-20122-15, 2010.

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**, v. 25, n. 3, pp. 647-664, 2019.

ÜNLU YAVAS, P.; KIZILCIK, H. S. Pre-Service Physics Teachers' Difficulties in Understanding Special Relativity Topics. **European Journal of Physics Education**, v. 7, n. 1, p. 13-24, 2016.

VELENTZAS, A.; HALKIA, K. The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity. **International Journal of Science Education**, v. 35, n. 18, p. 3026-3049, 2013.