

ANÁLISE DOS CONHECIMENTOS DE ESTUDANTES NO ENSINO MÉDIO ACERCA DA TEORIA DA RELATIVIDADE

Emmanuel Zullo Godinho¹

Mara Fernanda Parisoto²

Claudineia Pessatto³

André Ary Leonel⁴

GODINHO, E. Z.; PARISOTO, M. F.; PESSATO, C.; LEONEL, A. A. Análise dos conhecimentos de estudantes no ensino médio acerca da teoria da relatividade. **EDUCERE** - Revista da Educação, Umuarama, v. 21, n. 1, p. 71-90, jan./jun. 2021.

RESUMO: O presente trabalho tem por objetivo investigar a evolução conceitual dos estudantes do ensino médio, quando submetidos a uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), utilizando simulações específicas para ensinarem conceitos da Teoria da Relatividade Espacial (TER). Escolheu-se a área da Relatividade, pois na revisão da literatura em periódicos nacionais e internacionais foram encontrados apenas dez trabalhos que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos em condições reais de sala de aula. A UEPS foi proposta por considerar, dentre outros motivos, que os subsunçores presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, fundamentam-se na Teoria da Aprendizagem Significativa. Dessa forma, foram aplicadas, ao longo da implementação da proposta didática em duas turmas do ensino médio na disciplina de Física, dez questões referentes à TRE para identificar os conhecimentos prévios

DOI: [10.25110/educere.v21i1.2021.8032](https://doi.org/10.25110/educere.v21i1.2021.8032)

¹ Engenheiro Agrônomo/Matemático. Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Docente no Colégio Estadual João Queiroz Marques. E-mail: profemmanuelzullo@gmail.com

² Licenciatura em Física. Doutora em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Docente na Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: marafisica@hotmail.com

³ Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). E-mail: neiapessatto@gmail.com

⁴ Licenciatura em Física. Doutor em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Docente na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: aryfsc@gmail.com

dos alunos. Tais resultados foram utilizados para construir a proposta e balizar o processo de ensino-aprendizagem. A UEPS foi implementada em turmas do último ano do ensino médio de duas escolas públicas da cidade de Capitão Leônidas Marques-PR. Como metodologia de pesquisa, utilizou-se a pesquisa qualitativa, que foi realizada a partir dos procedimentos de análise do conteúdo e delas obtida uma diversidade de categorias. Na parte inicial da pesquisa, identificou-se que a maioria dos alunos possuem conhecimentos prévios sobre Relatividade, no entanto, essas concepções apresentam erros epistemológicos e visões deformadas da ciência. Depois da implementação da UEPS, a maioria dos alunos mostrou indícios de Aprendizagem Significativa de conceitos da TRE.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física; Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS); Teoria da Relatividade Especial (TRE).

ANALYSIS OF HIGH SCHOOL STUDENTS' KNOWLEDGE ON THE THEORY OF RELATIVITY

ABSTRACT: This work aims at investigating the conceptual evolution of high school students when submitted to a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS) using specific simulations to teach concepts of the Theory of Special Relativity (TSR). The Relativity area was chosen because only ten works were found investigating the mechanisms involved in the process of knowledge construction in real classroom conditions in the literature review in both national and international journals. The UEPS was proposed because it considers, among other reasons, that the subsumers present in the individual's cognitive structure are based on the Meaningful Learning Theory. Thus, during the implementation of the didactic proposal in two high school classes in the discipline of Physics, ten questions referring to TSR were applied to identify the students' prior knowledge. These results were used to build the proposal and guide the teaching-learning process. UEPS was implemented in classes in the last year of high school in two public schools in the city of Capitão Leônidas Marques in the state of Paraná. Qualitative research was used as the research methodology, which was carried out from the content analysis procedures, obtaining a variety of categories from them. In the initial part of the study, it was identified that most students had prior knowledge about relativity; however, these conceptions had epistemological errors and distorted views of science. After the

implementation of UEPS, most students showed evidence of Meaningful Learning of TRE concepts.

KEYWORDS: Teaching Physics; Potentially Significant Teaching Unit (UEPS); Theory of Special Relativity (TSR).

ANÁLISIS DE CONOCIMIENTOS DE ESTUDIANTES DE SECUNDARIA SOBRE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

RESUMEN: Esta investigación ha tenido como objetivo pesquisar la evolución conceptual de los estudiantes de secundaria, cuando sometidos a una Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa (UEPS), mediante simulaciones específicas para enseñar conceptos de la Teoría Especial de la Relatividad (TRE). Se eligió el área de la Relatividad, pues en la revisión de literatura en revistas nacionales e internacionales solo se encontraron diez trabajos que investigan los mecanismos involucrados en el proceso de construcción de conocimientos en condiciones reales de clase. La UEPS fue propuesta porque considera, entre otras razones, que subsunciones presentes en la estructura cognitiva del individuo se basan en la Teoría del Aprendizaje Significativo. Así, durante la implementación de la propuesta didáctica en dos clases de bachillerato en la disciplina de Física, se aplicaron diez preguntas referentes a TRE para identificar los conocimientos previos de los estudiantes. Estos resultados se utilizaron para construir la propuesta y orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje. La UEPS se implementó en clases del último año de secundaria en dos escuelas públicas de la ciudad de Capitão Leônidas Marques-PR. Como metodología de investigación se utilizó la investigación cualitativa, la cual se realizó a partir de los procedimientos de análisis de contenido y se obtuvo de ellos una variedad de categorías. En la parte inicial de la investigación se identificó que la mayoría de los estudiantes tienen conocimientos previos sobre la relatividad, sin embargo, esas concepciones presentan errores epistemológicos y visiones distorsionadas de la ciencia. Después de la implementación de UEPS, la mayoría de los estudiantes mostraron evidencias de Aprendizaje Significativo de los conceptos de TRE.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de Física; Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativa (UEPS); Teoría de la Relatividad Especial (TRE).

INTRODUÇÃO

As discussões sobre a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC), no Ensino Médio (EM), têm sido tema de estudos nos últimos anos, por diversos autores (PEREIRA; OSTERMANN, 2009; CARUSO; FREITAS, 2009; MADRUGA; CAPPELLETO, 2011; PANTOJA et al., 2011; DOMINGUINI, 2012; RODRIGUES et al., 2014; OTERO et al., 2015). Entretanto, como apontam Pereira; Ostermann (2009), em uma revisão de literatura sobre o ensino de FMC, a pesquisa educacional em relação à inserção da FMC no EM, não é muito extensa e uma parte substancial desses estudos são restritos a estratégias de ensino voltadas para a sua inclusão em sala de aula (RODRIGUES et al., 2014).

Da mesma forma, outras pesquisas científicas (MADRUGA; CAPPELLETO, 2011; PANTOJA et al., 2011), constataram que a maioria das publicações são materiais de divulgação e que existe uma escassez de trabalhos que investigam tanto as concepções alternativas dos estudantes relativas a temas contemporâneos, quanto os que relatam propostas de ensino aplicadas em sala de aula. E, no caso da Relatividade, embora haja um número considerável de trabalhos que abordam, especificamente, Relatividade Especial (RE) e Relatividade Geral (RG), identificou-se por meio de uma extensa revisão da literatura, que apenas dez trabalhos relatam propostas didáticas aplicadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem no EM. Além de ser escassa a literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino de FMC nas escolas, há várias divergências a respeito de que caminho deve ser seguido (PANTOJA et al., 2011).

Dessa forma, o objetivo principal deste manuscrito foi investigar em alunos do ensino médio, os seus conhecimentos em relação à física moderna contemporânea mais especificamente sobre a Teoria da Relatividade, quando submetidos ao sistema avaliativo das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos últimos anos, vários pesquisadores e educadores têm direcionado seus esforços na tentativa de identificar as complexas variáveis que envolvem a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), alguns conceitos simples de física,

os procedimentos utilizados na física e suas aplicações científicas na prática. Dentre eles, destaca-se Moreira (2011) que, apresentou uma sequência didática fundamentada na (TAS) proposta por Ausubel (2002), a qual parte da premissa de que não há ensino sem aprendizagem e de que o ensino é o meio e a TAS é o fim. Essa sequência didática foi nomeada de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e que pode abordar diversos conteúdos em diferentes disciplinas.

Moreira (2011, p. 32) propõe alguns aspectos sequenciais a serem seguidos na elaboração de uma UEPS:

1. Definição do tópico a ser abordado; Identificação dos conhecimentos prévios dos alunos;
2. Criar/propor situações a partir de várias ferramentas (mapas conceituais, mapas mentais e etc.) e que levem o aluno a querer pensar, a criar um modelo mental, de seus conhecimentos prévios;
3. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno;
4. Apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido, partindo do mais geral para o mais específico;
5. Retomada dos aspectos mais gerais do conhecimento estudado, porém com a inserção de uma situação-problema em nível maior de complexidade;
6. Novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade;
7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de AS do conteúdo trabalhado;
8. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de Aprendizagem significativas (AS).

Nas UEPS a diversificação de materiais e estratégias de ensino são essenciais para estimular o questionamento, o diálogo e a crítica dos estudantes, uma vez que, privilegiam um ensino centrado no aluno e não no professor. Mas, para que esses estímulos ocorram de fato, devem-se privilegiar tanto as atividades colaborativas quanto às atividades individuais.

Está bem estabelecido que as estratégias de ensino devem levar em conta

os conhecimentos prévios dos estudantes, pois como ressalta Ausubel (2002) esta é a variável isolada mais importante para a AS de novos conhecimentos. Mas, infelizmente nem sempre é assim, há casos em que o conhecimento prévio pode funcionar como um obstáculo epistemológico (BACHELARD, 1997). Por isso, “[...] não significa dizer que é sempre uma variável facilitadora de aprendizagem” (MOREIRA, 2012, p. 7).

Para que a AS ocorra é preciso que os novos conhecimentos interajam de maneira não literal e não arbitrária com os conhecimentos prévios que o aprendiz já possui. Não arbitrária quer dizer não aleatória e significa que a interação não é com qualquer conhecimento e, não literal significa que pode relacionar conceitos, símbolos de diversas formas sem mudar o significado com os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos alunos (MOREIRA, 2012). A esse conhecimento, “[...] um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem” (MOREIRA, 2012, p. 2).

Para haver a AS são necessárias ainda duas condições: em primeiro lugar, o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que se relacionar de forma não arbitrária e não literal com os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos alunos (MOREIRA, 2012). Em segundo, o aluno deve apresentar uma predisposição para aprender (AUSUBEL, 2002), ou seja, ele deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não arbitrária e não literal, a seus conhecimentos prévios.

Mas, se ele quiser memorizar o conteúdo, então a aprendizagem será mecânica. É importante esclarecer que AS não é aquela que o indivíduo nunca esquece. “[...] discriminabilidade, de diferenciação de significados, não uma perda de significados” (MOREIRA, 2012, p. 4). Mas, “[...] provável que aprendizagem tenha sido mecânica, não significativa” (MOREIRA, 2012, p. 4).

Segundo Ausubel (2002), a estrutura cognitiva é caracterizada por dois processos principais, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva é um processo pelo qual o aprendiz atribui novos significados a um dado subsunçor resultante da sucessiva utilização desse modelo para dar significado a novos conhecimentos (MOREIRA, 2012). E reconciliação integradora é um processo que consiste “[...] buscando as diferenças e semelhanças entre eles” (PARISOTO, 2015, p. 64).

METODOLOGIA DA PESQUISA

Nesta pesquisa buscou-se identificar os conhecimentos prévios dos estudantes do ensino médio que foram aplicados ao longo da implementação da UEPS com dez questões sobre conceitos básicos da Teoria da Relatividade. Esse mesmo instrumento avaliativo foi reaplicado após a implementação da UEPS com o intuito de corroborar ou refutar indícios de aprendizagem. Ressalta-se que foi aplicado um questionário simples com perguntas sobre a teoria da relatividade, onde o mesmo separou o pré-teste do pós-teste, onde possuíam as mesmas questões devido a que se houvesse diferença entre os resultados obtidos não seria por causa da alteração do instrumento. Além disso, antes no processo de instrução, foram identificados erros epistemológicos e visões deformadas da ciência, de modo que ao se utilizar o mesmo instrumento após o processo de instrução objetivava-se verificar se essas mesmas concepções errôneas da ciência permaneceram ou foram alteradas na estrutura cognitiva do aprendiz.

A proposta foi implementada em aulas simultâneas da disciplina de Física, concomitantemente, em quatro turmas da 3ª série do EM de duas escolas estaduais localizadas na cidade de Capitão Leônidas Marques-PR. Duas delas foram denominadas de grupo experimental (PARISOTO, 2015) e as outras duas foram chamadas de grupo de controle (CHANG; LEE, 2010). Os dois grupos possuíam as seguintes características: ocorriam no período matutino, os alunos possuíam entre 16 e 17 anos e a maioria não trabalhava.

No grupo experimental foram ministradas aulas da disciplina de Física, utilizando as UEPS com conteúdos de RE programados para 14 horas/aula em cada turma, no entanto, a implementação da UEPS ocorreu em 24 horas/aula devido a aplicação dos questionários pré-teste e pós-teste. Esse grupo era composto por 50 alunos (24 alunos da turma experimental A e 26 estudantes da turma experimental B).

No grupo de controle foram ministradas “aulas tradicionais” (aulas expositivas seguidas de resolução de exercícios), com os mesmos conteúdos de RE e com a mesma carga horária, ou seja, 24 horas/aula. Esse grupo era composto por 52 alunos (sendo 24 alunos da turma de controle A e 28 estudantes da turma de controle B).

Moreira (2011), ao apresentar as UEPS fundamentadas na TAS de

Ausubel (2002), afirma que, para que o material a ser ensinado seja potencialmente significativo, é necessário que o conteúdo a ser aprendido seja logicamente significativo e possa ser relacionados a conhecimentos prévios específicos presentes na estrutura cognitiva do estudante. Por isso, este trabalho de pesquisa buscou identificar esses conhecimentos prévios, reformular o planejamento didático e ensinar de acordo com eles. Se os alunos apresentaram mais conhecimento sobre o assunto, esse foi utilizado como subsunçor para a aprendizagem de novos conceitos. Se não souberam, esse foi destacado nas explicações e na proposta didática construída levando em conta os dados coletados e onde os mesmos foram compilados e separados por questões e respostas.

A análise qualitativa dos dados obtidos a partir das quatro questões propostas para o grupo experimental antes e após a implementação da UEPS, utilizando os procedimentos de análise de conteúdo proposta por Bardin (2011), para avaliar em quais conhecimentos conceituais há indícios de AS e quais deixam de ser utilizados corretamente, fornecendo indícios de aprendizagem mecânica. Em seguida, apontam-se as divergências entre os dados qualitativos e apresenta-se sugestões do que se poderia fazer, numa próxima implementação da proposta didática, para haver indícios de AS nos casos em que foram identificadas evidências de aprendizagem mecânica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a aplicação dos questionários, foram separados por perguntas e respostas e assim compilados, a seguir.

As seis categorias apresentadas na Tabela 1 foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão:

Pergunta 1: Quem foi Albert Einstein?

Tabela 1: Quem foi Albert Einstein?

Categoria	Subcategoria	Antes UEPS	Após UEPS
1. Formação acadêmica do Einstein.		26	50
2. Concepção incorreta da epistemologia e história da ciência.	2.2 Não relação com seus antecessores.	40	39
3. Atribuições dos cientistas.	3.1 Gênio.	16	3
	3.2 Resolvedor de problemas.	1	0
	3.3 Famosos.	19	19
	3.4 Não ia bem na escola.	3	
4. Sabe que ouviu, mas não lembra nada sobre.		4	0
5. Relaciona Einstein com a Teoria da Relatividade (TR).		24	36
6. Características da Física.	6.1 Generalidade do modelo físico.	7	0
	6.2 Juízo de valor.	3	1

Antes UEPS: Resposta dos alunos antes da UEPS; **Após UEPS:** Resposta dos alunos após a UEPS.

Fonte: Autores (2018).

Antes da implementação da proposta didática foi possível perceber, por meio das respostas dos estudantes, que eles possuem diferentes conhecimentos prévios sobre Albert Einstein. Entretanto, como mostra a Tabela 1, algumas dessas concepções apresentam uma visão incorreta da história e epistemologia da ciência, principalmente, no que se refere ao desenvolvimento da TRE, como exemplo, cita-se a categoria 2 (concepção incorreta da epistemologia e história da ciência) na qual 37 estudantes destacaram que Einstein construiu sozinho a TRE. Com o intuito de modificar tais concepções errôneas da ciência planejou-se algumas ações que foram utilizadas para reformular o planejamento didático e ensinar de acordo com elas. Segue uma síntese dessas ações, apresentadas após a análise geral dos dados

coletados dos alunos.

Utilização da história e epistemologia da ciência, com objetivos de:

- a.** Apresentar de forma contextualizada o contexto histórico em que a TRE foi desenvolvida, mostrando assim que outros cientistas colaboraram com o desenvolvimento da TRE;
- b.** Expor os conhecimentos que Einstein e colaboradores se basearam para fazer a TER;
- c.** Contextualizar os problemas que levaram esses cientistas a desenvolver a TER;
- d.** Mencionar alguns dos desafios que atualmente os físicos se deparam na ciência com o objetivo de mostrar aos estudantes que a Física não é uma ciência imutável, e sim uma construção humana que está sujeita a contestações e modificações.

Após a implementação da proposta didática, destaca-se que apesar da utilização das ações planejadas para diminuir tais concepções errôneas da ciência (como por exemplo, a utilização da história e epistemologia da ciência), alguns⁵ estudantes permaneceram com as mesmas concepções.

Como síntese dos resultados obtidos nessa primeira questão destaca-se que as categorias obtidas sobre o que os estudantes pensam sobre “Einstein” são fortemente condicionadas pelas concepções de ciência e do cientista reproduzidas pelos meios de comunicação de massa, pelo discurso de autoridade do “cientificismo” e pela concepção ingênua do que é ciência por alguns professores, etc.

Segundo Gil Perez et al (2001), nem mesmo os estudantes do ensino superior possuem uma “bagagem” epistemológica ou da história da ciência, menos ainda se poderia esperar dos estudantes da educação básica, que não conseguem “afastar” suas concepções da chamada imagem “popular” e ingênua da ciência, socialmente difundida e aceita (inclusive pela própria educação científica), por exemplo, pelas histórias em quadrinhos, pelo cinema e, em geral, pelos meios de comunicação, imprensa, revistas, televisão. Mas, como não é objetivo deste trabalho

⁵ Não se quantificou o número de estudantes que permaneceram com as mesmas concepções porque a análise das respostas é baseada em categorias, e assim como a resposta de um aluno pode apresentar indícios de AS em uma categoria pode não apresentar em outra. Entretanto, buscou-se mostrar em cada categoria criada quantos estudantes apresentaram ou não indícios de AS.

analisar as razões dessa incoerência⁶ propõem-se na Tabela 3 algumas ações, para uma próxima implementação da UEPS, visando modificar os erros epistemológicos que permaneceram na estrutura cognitiva dos estudantes.

Alguns questionamentos começaram a ser criados como: O que poderá articular as visões deformadas da história e da epistemologia da ciência:

- a. Levar o aluno a refletir sobre o trabalho científico (Gil Perez et al, 2001).
- b. Contextualizar por meio das visões deformadas da ciência as atribuições dadas aos cientistas pelos meios de comunicação, pelo cinema, pelas histórias em quadrinhos e etc. (GIL PEREZ et al, 2001).
- c. Utilizar textos do livro “verdades e mentiras” de Alves (2015) para:
 - c.1 Enfatizar os motivos que levaram Einstein a morar nos Estados Unidos.
 - c.2 Discutir o papel da esposa de Einstein no desenvolvimento da teoria da relatividade (TR), expondo assim o porquê há pouca menção às mulheres na ciência.
 - c.3 Apresentar a vida de Einstein antes de 1905, enfatizando a sua formação acadêmica e o âmbito sociocultural em que ele vivia.

A ação citada anteriormente torna-se útil porque visa conhecer as possíveis deformações que o ensino de ciências poderia (e pode) estar a transmitir explícita ou implicitamente sobre o trabalho científico, bem como utilizar a história e epistemologia da ciência para aproximar-se de concepções epistemológicas mais adequadas que, se devidamente reforçada, podem ter incidência positiva sobre o ensino. Ressalta-se que tal ação pode ser uma alternativa para a modificação das concepções epistemológicas dos estudantes acerca da natureza científica e da construção do conhecimento científico.

As sete categorias que serão apresentadas na Tabela 2 foram construídas a partir das respostas dos estudantes a seguinte questão:

Pergunta 2: O que vocês sabem sobre a Teoria da Relatividade?

⁶ Segundo Gil Perez et al. (2001) essas incoerências remetem, primeiramente, para o fato de o ensino científico, inclusive o universitário, terem sido reduzidos basicamente à apresentação de conhecimentos previamente elaborados, sem dar a oportunidade aos alunos de contactarem e explorarem atividades na perspectiva de um ensino do tipo investigativo.

Tabela 2: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos à segunda questão.

Categoria	Subcategoria	Antes UEPS	Após UEPS
1. Já ouviram, mas não lembram o que é.		15	0
2. Apresentam equívocos.	2.1 Relação com igualdade	15	2
	2.2 Relação com o Einstein.	5	9
3. Não/ Não responderam/ Não sabem.		2	3
4. Fonte de conhecimento.	4.1 Escola	1	0
	4.2 Filmes	1	0
	4.3 Documentários	1	0
5. Relação com relatividade no sentido usual.		13	0
6. Posição influencia passagem do tempo.		6	22
7. Velocidade influencia passagem do tempo.		4	17

Antes UEPS: Resposta dos alunos antes da UEPS; **Após UEPS:** Resposta dos alunos após a UEPS.

Fonte: Autores (2018).

Antes da aplicação da UEPS foi possível perceber que os estudantes possuíam diferentes concepções prévias sobre a TR, entretanto, essas concepções eram baseadas em ideias do senso comum como exemplo, cita-se a categoria 2 (apresentam equívocos), na qual 15 estudantes mostraram relações de igualdade atreladas ao senso comum, conforme evidenciado na fala do estudante 14 da turma A “Sim. É duas coisas muito parecido, igual, comparativo”.

Na Tabela 3 é apresentado ações que foram planejadas a fim de promover uma ruptura epistemológica com o senso comum, pois como ressalta Francelin (2004) os conceitos nascem no cotidiano (senso comum), são apropriados pelo meio científico e tornam-se científicos ao romperem com esse cotidiano, com esse

senso comum.

Tabela 3: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Apresentar, por meio de aula expositiva-dialogada, os conhecimentos científicos aos estudantes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levar os estudantes a confrontarem os conhecimentos de senso comum com os conhecimentos científicos a partir de problematizações sobre o assunto. 2. Problematizar os conhecimentos prévios apresentados pelos estudantes com o intuito de promover uma ruptura epistemológica com o senso comum.

Fonte: Autores (2018).

Depois da aplicação da UEPS as respostas apresentadas pelos estudantes possuíam uma maior relação com a TRE o que evidencia uma melhor compreensão desse conteúdo. Por outro lado, destaca-se que a principal confusão apresentada no item 5 da tabela 4, está relacionada com a mudança de velocidade, que é confundida com uma mudança de posição. Os estudantes atribuem a dilatação temporal à ida ao espaço e não a velocidade do foguete.

Em síntese a essa segunda questão, destaca-se que houve uma evolução das respostas dos estudantes a questão proposta, uma vez que, antes do processo de instrução as respostas eram baseadas em ideias do senso comum, sendo que depois do processo de instrução as respostas apresentadas pelos estudantes possuíam uma maior relação com a TRE, o que evidencia uma melhor compreensão da TRE. Por outro lado, destaca-se que a principal confusão apresentada na categoria 5 da Tabela 4 está relacionada com a mudança de velocidade, que é confundida com uma mudança de posição.

Os estudantes atribuem a dilatação temporal à ida ao espaço e não a velocidade do foguete de Bert. Diante do exposto, sugere-se para uma próxima implementação da UEPS trazer situações-problema que levem os estudantes a refletirem sobre os fatores que influenciam na passagem do tempo, bem como

destacar que a mudança de posição não tem relação direta com o efeito.

As categorias discutidas e apresentadas na Tabela 4 foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão:

Pergunta 3: O que você entende por espaço e tempo?

Tabela 4: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a terceira questão.

<i>Categoria</i>	Antes UEPS	Após UEPS
1. Invenção humana.	3	1
2. Relação entre espaço e tempo.	7	9
3. Espaço sinônimo de lugar, pode ser medido.	14	15
4. Tempo sinônimo de horas, pode ser medido.	17	7
5. Tempo como duração de fatos.	7	4
6. Espaço relação com objetos materiais.	7	20
7. Não responderam/Não sabem.	10	2
8. Tempo é o que marca o relógio.	4	28

Antes UEPS: Resposta dos alunos antes da UEPS; **Após UEPS:** Resposta dos alunos após a UEPS.

Fonte: Autores (2018).

Antes do processo de instrução foi possível perceber, assim como Arriassecq e Greca (2006), que os subsunçores que os estudantes possuem sobre os conceitos de tempo e espaço não são totalmente adequados para a compreensão dos conceitos relevantes do ponto de vista científico e, no caso da relatividade as definições dessas grandezas são úteis na descrição dos fenômenos físicos. Além disso, foi possível identificar evidências de alguns equívocos⁷ que os estudantes estariam utilizando para dar sentido a esses conceitos, mas que não são apropriados.

Na Tabela 5, são apresentadas ações que foram utilizadas para modificar

⁷ Tais como: tempo é uma invenção humana, espaço é sinônimo de lugar e pode ser medido, tempo é sinônimo de horas e pode ser medido, tempo é a duração dos fatos, o espaço possui uma relação com os objetos materiais, entre outros.

esses conhecimentos.

Tabela 5: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Utilização de perguntas que envolvam os conceitos de tempo, espaço e referencial inercial que aparecem implicitamente nas três animações que tratam de fenômenos relativísticos.	1. Levar os estudantes a relacionarem as perguntas propostas com as animações.
	2. Encorajar os estudantes a compartilharem seus conhecimentos sobre o assunto.
	3. Expor a importância dos conceitos de tempo, espaço e referencial inercial para a explicação dos fenômenos que estão presentes nas animações.
	4. Explicar por meio da descrição do movimento como são feitas as medidas de tempo e espaço.
	5. Definir de forma pragmática tempo e espaço.

Fonte: Autores (2018).

Depois do processo de instrução, 46 (dos 50 estudantes que responderam à questão proposta) apresentaram explicações cíclicas ou filosóficas sobre os conceitos de tempo e espaço (como por exemplo “o tempo é a duração”, sendo a duração uma quantidade de tempo). Ressalta-se ainda que a principal confusão nessas definições venha exatamente do que se está definindo e na relatividade as definições de como medir essas grandezas são úteis na descrição dos fenômenos físicos. Por isso, chegou-se à conclusão de que a questão proposta é problemática e precisa ser reformulada a partir desse contexto, pois ela (a questão) não permite que o estudante “separe” o tempo e o espaço “filosófico”, das variáveis utilizadas na descrição dos fenômenos físicos.

Em síntese, pode-se dizer que, mesmo após a implementação da UEPS, os alunos continuaram com as concepções de tempo e espaço fortemente atreladas aos conceitos usados na vida cotidiana. Tais concepções até lhes permitem operar em princípio com o campo da mecânica newtoniana. No entanto, esses conceitos não são mais apropriados para a compreensão da física clássica e é problemático para a compreensão da TR. Destaca-se ainda, do ponto de vista científico, que tais

definições não são triviais e por isso pouco se consolidaram na estrutura cognitiva do estudante.

Diante do exposto, chega-se à conclusão de que é necessário modificar a questão proposta para que em uma próxima implementação da UEPS⁸ os estudantes possam descrever o que é tempo e espaço no âmbito físico, evitando assim respostas de senso comum ou descrições cíclicas como “o tempo é a duração”, sendo a duração uma quantidade de tempo.

As categorias discutidas na Tabela 6 foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão:

Pergunta 4: Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por “Teoria da Relatividade Restrita”?

Tabela 6: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a quarta questão.

Categoria	Antes UEPS	Após UEPS
1. Relação de tempo e espaço	13	5
2. Espaço e tempo variam de acordo com o referencial.	8	20
3. Movimento dos corpos na ausência de campos gravitacionais	6	10
4. Não sabem/Não responderam	17	12

Antes UEPS: Resposta dos alunos antes da UEPS; **Após UEPS:** Resposta dos alunos após a UEPS.

Fonte: Autores (2018).

Antes da implementação da proposta didática foi possível perceber que os estudantes possuíam diferentes concepções sobre o porquê da teoria desenvolvida por Albert Einstein ter sido conhecida por Teoria da Relatividade Restrita (TRR). No entanto, parte dessas respostas era baseada em ideais de senso comum e algumas poucas relacionavam o conceito de restrita às ideias e aos conceitos apresentados na teoria.

⁸ A ação proposta para uma próxima implementação da UEPS nos casos em que não houve indícios de AS é a modificação da questão, pois ela é problemática para a descrição dos fenômenos físicos na TR.

Na Tabela 7 é apresentada a ação planejada e utilizada para promover uma reestruturação na epistemologia das ideias de senso comum a fim de buscar uma maior relação entre o conceito restrito às ideias e aos conceitos apresentados na teoria.

Tabela 7: Ação planejada para reestruturar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Aula expositiva-dialogada.	1. Promover uma maior relação entre o conceito de restrita e às ideias e aos conceitos apresentados na TRR.
	2. Discutir o significado das palavras Relatividade e restrito.
	3. Negociar com os alunos quais as definições que se adequam à TRR.

Fonte: Autores (2018).

Depois da implementação da proposta didática, com destaque para 12 estudantes que, mesmo após a implementação da proposta didática não sabiam ou não conseguiram responder à questão apresentada. Percebe-se nas respostas dos demais estudantes dessa turma que eles até compreendem que o tempo e o espaço variam na TRR, porém não conseguem explicar porque eles variam e porque são relativos. Os dez alunos da turma A que tentaram explicar porque o tempo e o espaço são relativos de acordo com o referencial deram respostas baseadas no senso comum e muitas vezes sem sentido, como por exemplo: “Porque se varia em relação ao tempo e ao espaço e que é relativo, pois pode ser referencial para mim não pode ser para outra pessoa” Percebe-se implicitamente uma confusão entre os conceitos de simultaneidade e de referencial.

Em conclusão a essa quarta questão destaca-se que a dificuldade dos estudantes em descrever porque essa sigla ficou conhecida como TRR. A maioria dos estudantes até descrevem corretamente o termo citado, a casos onde a gravitação não é relevante, mas não consegue fazer uma relação com termo relatividade. Destaca-se ainda, que os estudantes não conseguem entender que tempo e espaço passam a ser relativos, ou seja, dependente do estado de movimento do referencial e por consequência não conseguem compreender que a simultaneidade de dois

eventos também é relativa.

Diante do exposto, sugere para uma próxima implementação da UEPS a utilização de uma abordagem histórica acerca do desenvolvimento da TRR com o intuito de promover uma maior compreensão do porque a TRR ficou conhecida por TRR.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados sobre o conhecimento dos alunos perante a teoria da relatividade, a pesquisa mostrou que a maioria dos alunos possuem conhecimentos prévios sobre relatividade, no entanto essas concepções apresentam erros epistemológicos, visões deformadas da ciência, ideias do senso comum, entre outras. Uma das ações que foi tomada para diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes, foi a de utilizar a história e epistemológica da ciência e aula expositiva-dialogada. Depois da implementação da UEPS, detectou-se que alguns alunos não apresentaram indícios de AS nas perguntas acerca dos conceitos de tempo, espaço e referencial inercial e do princípio da invariância da velocidade da luz, o que por consequência, leva a não compreensão dos fenômenos e efeitos relativísticos. Em contrapartida, detectaram-se indícios de AS pela maioria dos estudantes nas questões **sobre** os conceitos de tempo e referencial inercial, do princípio da invariância da velocidade da luz e dos fenômenos relativísticos.

Tais resultados mostram divergências entre os próprios dados qualitativos. Acredita-se que essas divergências entre os resultados encontrados na análise qualitativa se deva as dificuldades que os estudantes possuem ao descrever os conceitos da TRE, bem como pela falta de objetividade/qualidade das questões propostas. Por isso, uma das perspectivas de continuação da pesquisa é a de verificar essas hipóteses em uma próxima implementação da UEPS, depois de realizada as alterações necessárias no material de aprendizagem.

Acredita-se que essa pesquisa contribuirá para o desenvolvimento e a avaliação de estratégias para o ensino de conceitos científicos atuais e, para reduzir a falta de pesquisas que investigam os resultados de aprendizagem em condições reais de sala de aula.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. V. **Einstein**: verdades e mentiras. Barueri: Novo Século Editora, 2015.

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. M. Introducción de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio /polimodal de enseñanza: identificación de teoremas - en - acto y determinación de objetivos - obstáculo. **Investigações em Ensino de Ciências**, Buenos Aires, Argentina, v. 11, n. 2, p.189-218, 2006.

AUSUBEL, D. P. **Retenção e aquisição de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2002. 154 p.

BACHELARD, G. **La formación del espíritu científico**: contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo, Siglo XXI de España Editores, Espanha: Ed. 26, 2007. 302 p.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011. 229 p.

CARUSO, F.; FREITAS, N. de. Física moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 355-366, 2009.

CHANG, L. C.; LEE, G. L. A team-teaching model for practicing project-based learning in high school: collaboration between computer and subject teachers. **Computers & Education**, v. 1, n. 55, p. 961-969, 2010.

DOMINGUINI, L. Física moderna no ensino médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Criciúma, v. 34, n. 2, p. 2502-2507, abr. 2012.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

MADRUGA, J. R.; CAPPELLETTO, E. Uma revisão das propostas de ensino sobre relatividade. ENCONTRO ESTADUAL DE ENSINO DE FÍSICA, 4.; Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, 2011.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** aula inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá/MT, 23 de abr. 2002.

OTERO, M. R.; ARLEGO, M.; PRODANOFF, F. Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the special theory of relativity in high school. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Buenos Aires, Argentina, v. 37, n. 3, p. 3401-3410, set. 2015.

PANTOJA, G. C.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de mecânica quântica no período de 1999 a 2009. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p.1-34, set./dez. 2011.

PARISOTO, M. F. **Ensino de termodinâmica a partir de situações da engenharia**: integrando as metodologias de projetos e as unidades de ensino potencialmente significativas. 2015. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente¹: (Modern and contemporary physics teaching: a review on recent literature). **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

RODRIGUES, C. M.; SAUERWEIN, I. P. S.; SAUERWEIN, R. A. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no ensino médio via estudo do GPS. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 1401-1407, fev. 2014.

Recebido em: 19/04/2021

Aceito em: 31/08/2021