

TEORIA DA RELATIVIDADE: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO

Alisson Cristian Giacomelli – alissongiacomelli@upf.br

Carlos Ariel Samudio Pérez – samudio@upf.br

Cleci Teresinha Werner da Rosa – cwerner@upf.br

Universidade de Passo Fundo

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

Passo Fundo – Rio Grande do Sul

Resumo: O presente estudo consiste em uma investigação referente a estruturação e aplicação de uma proposta didática visando inserção de tópicos da teoria da relatividade restrita e geral no ensino médio. O embasamento teórico para a elaboração da proposta apoia-se na didática francesa, mais especificamente na teoria da transposição didática na perspectiva de Yves Chevallard, acrescida das discussões de Jean-Pierre Astolfi. O estudo foi desenvolvido junto a um curso de formação inicial de professores de Física e teve como objetivo investigar a viabilidade da proposta em termos didáticos e como favorecedora na construção do conhecimento. Com os resultados da pesquisa foi possível verificar uma significativa evolução nas concepções dos estudantes entre antes e depois da aplicação da proposta, o que remete a potencialidade didática da mesma.

Palavras-chave: Física Moderna, Relatividade, Ensino médio.

1 INTRODUÇÃO

A evolução do conhecimento científico conduz a uma visão cada vez mais ampla e crítica do mundo. Essa visão precisa permear o pensamento dos professores do ensino médio, e estes, por sua vez, devem levá-la para a sala de aula. No que diz respeito à Física, um salto importante e abrupto na evolução do conhecimento científico ocorreu com o surgimento da chamada Física Moderna (FM). A mudança na forma de interpretar o mundo decorrente dessa nova Física não tem qualquer paralelo na história. As novas teorias são contraintuitivas, abstratas, extremamente imaginativas e conduzem a uma interpretação dos fenômenos naturais que difere significativamente das que se haviam construído até então. Compreender e aceitar as consequências dessa nova visão de mundo pode se mostrar desafiador até mesmo para um físico experiente, e, no que diz respeito a um estudante do ensino médio, não poderia ser diferente. No entanto, esse desafio intelectual pode se tornar um importante elemento no processo de ensino e aprendizagem em Física.

As discussões sobre a inserção da FM no ensino médio, nos Estados Unidos, e possivelmente em nível internacional, intensificaram-se com a "Conferência sobre o Ensino

de Física Moderna", realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois, em abril de 1986. Nessa conferência, cerca de cem professores interagiram com aproximadamente quinze físicos. O principal objetivo das discussões era o de promover a abordagem de tópicos de FM em escolas de nível médio, assim como em cursos introdutórios de graduação. No Brasil, esse movimento se intensificou a partir da publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) em 1999. O texto em questão reforça, ainda, a necessidade da formação de um cidadão atualizado e crítico que interage com o mundo a sua volta (OSTERMAN; MOREIRA, 2001).

Para que ocorra essa interação crítica, o cidadão precisa ter ao menos um conhecimento básico sobre as leis da natureza. Somente assim ele poderá compreender, por exemplo, as implicações de um tratamento de radioterapia, o funcionamento de sensores fotoelétricos, aparelhos de GPS (do inglês Global Positioning System) e de muitas outras tecnologias presentes em seu cotidiano, bem como compreender notícias sobre novas pesquisas e teorias que constantemente são veiculadas nos mais variados meios de comunicação. A teoria da relatividade restrita (TRR) trata-se de um dos pilares da FM, e a compreensão de algumas das suas implicações pode ser uma forma de despertar o interesse pela Física e de estabelecer no sistema cognitivo do estudante uma nova forma de interagir com o mundo a sua volta. A necessidade de se observar o mundo de uma forma diferenciada é uma das consequências do estudo da TRR, assim como da teoria da relatividade geral (TRG), que muitas vezes parecem (erroneamente) estar distanciadas da experiência cotidiana do estudante.

Embora se justifique a necessidade de inserção de tópicos de FM no ensino médio, o que se observa é que no geral ela é ainda pouco abordada. Terrazzan (1992), há mais de 20 anos já destacava que o currículo das escolas de educação básica no Brasil segue, basicamente, a sequência adotada pelos modelos estrangeiros, que geralmente excluem a Física desenvolvida no século XX, situação que permanece presente mesmo após a elaboração dos PCNs (BRASIL, 1999), que inferiram a presença desse conteúdo no ensino médio.

A inserção de tópicos de FM no ensino médio ainda precisa superar alguns obstáculos. Rezende (2001) destaca que existem dois problemas fundamentais: a falta de preparo dos professores devido à deficiência da sua formação nos cursos de graduação em Física e a falta de conteúdos que contemplem a FM nos livros didáticos.

Nesse sentido, mostra-se cada vez mais necessária a elaboração de materiais contendo propostas com diferentes abordagens, assim como a adequação dos cursos de graduação em Física, a fim de se fornecer subsídios aos futuros professores. A partir dessa identificação o

presente trabalho se ocupa de descrever o estudo que visa avaliar as potencialidades de uma proposta didática que aborda tópicos da TRR e da TRG, fundamentada na teoria da Transposição Didática (TD) de Chevallard (1991), como favorecedora da construção dos conhecimentos. A escolha pela teoria da TD se dá pelo fato de que ela permite analisar como ocorre a adaptação do saber produzido no meio científico até a sua chegada nas escolas, o que no campo da FM ainda se revela um processo em construção e carente de estudos, especialmente de propostas didáticas.

Para o desenvolvimento do estudo optou-se por uma pesquisa de natureza qualitativa e vinculada a análise de um processo de intervenção didática aplicada junto a um grupo de estudantes em um curso de licenciatura em Física.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente estudo encontra-se apoiado na perspectiva teórica de Yves Chevallard com contribuições de Jean-Pierre Astolfi frente à especificidade da TD. Tal perspectiva possibilita analisar as características que são necessárias para a estruturação de um conhecimento na forma de material didático. A ideia da TD enquanto um processo de adaptação do saber produzido no mundo das pesquisas em objeto de conhecimento a ser abordado em sala de aula na educação básica, remete ao estudo do sociólogo Michel Verret em 1975. Entretanto, quem lhe deu o significado que é conhecido atualmente e que guia este estudo, localiza-se na perspectiva do matemático Yves Chevallard na década de 1980.

O aspecto central da teoria da TD parte da identificação de que a forma como os conteúdos são abordados em sala de aula, no geral, diferencia-se da forma como eles se apresentam em sua formulação original pelos cientistas. Para Chevallard (1991), o saber (conhecimento) pode ser dividido em três esferas: saber sábio; saber a ensinar; saber ensinado.

O saber sábio refere-se a aquele produzido originalmente pelo cientista. Esse novo conhecimento, é submetido a adequações pelo cientista a fim de compatibilizá-lo com as regras e normas específicas para logo torná-lo conhecimento da comunidade científica de forma geral.

O saber a ensinar representa as adaptações que o saber sábio sofre para se constituir como objeto de ensino, normalmente realizado para integrar os livros didáticos, manuais de ensino e programas escolares. No processo de TD entre o saber sábio e o saber a ensinar, o conhecimento passa por um processo de reestruturação que o leva a, de certa forma, desligar-

se do contexto em que foi elaborado originalmente, assumindo uma nova estrutura de caráter ordenado, com uma sequência lógica e um novo caráter epistemológico. Esse processo é chamado por Chevallard (1991) de “despersonalização”, que consiste no saber perder o seu contexto original, assumindo novas características estruturais e epistemológicas. Os responsáveis neste processo de adaptação são os principais envolvidos no processo de ensino, como, por exemplo, os autores de livros didáticos, especialistas das disciplinas, professores, o poder público e demais ramos da sociedade envolvidos nos processos de ensino e aprendizagem.

O saber ensinado representa as transformações que ocorrem no saber a ensinar que se encontra nos livros (e outros materiais) didáticos em algo que se julga adequado aos alunos. O principal ator neste processo de transformação é o professor, e deve realizá-lo levando em consideração a realidade da escola na qual está inserido. Também podem ser atores os alunos, a administração escolar e outros membros da comunidade mais próximos à escola.

Após essas adequações caracterizadas pelos saberes indicados por Chevallard (1991) é que o conhecimento de fato chega até o estudante. Ou seja, desde a sua formulação original, o conhecimento sofre reformulações, sendo todos os envolvidos nesse processo os responsáveis por tais reformulações. A esse grupo de pessoas e setores da sociedade o autor dá o nome de “noosfera”. Ela tem como principal função a otimização do ensino, visando a uma forma mais eficiente de conduzir todo o processo inclusive no que diz respeito à seleção de quais tópicos serão levados para a sala de aula.

Em todo o processo de TD, desde o saber sábio até o saber a ensinar Chevallard (1991) aponta que, algumas características determinantes precisam ser observadas para a sobrevivência do conhecimento no nível do saber a ensinar. Para ele o saber a ensinar deve: (i) ser consensual, (ii) ter atualidade moral, (iii) ter atualidade biológica, (iv) ter operacionalidade, (v) apresentar criatividade didática e, (vi) ser terapêutico.

Astolfi (1997), baseando-se nas características definidas por Chevallard (1991), elaborou cinco regras a serem seguidas no processo de TD, as quais foram consideradas no momento da elaboração da proposta didática analisada neste estudo. Tais regras são: Regra 1: Modernizar o saber escolar; Regra 2: Atualizar o saber a ensinar; Regra 3: Articular o saber novo com o antigo; Regra 4: Transformar um saber em exercícios e problemas; Regra 5: Tornar um conceito mais compreensível

O principal pressuposto deste estudo é que muitos tópicos da FM ainda encontram-se em um processo de TD em construção, e por consequência ainda não consolidado na sala de aula, nesse sentido que se optou pela teoria da TD de Chevallard para sustentar a proposta deste

estudo. A proposta é reforçada, também, pelas afirmações de Pesquisadores da área do ensino de Física, como Siqueira e Pietrocola (2006) e Brockington e Pietrocola (2005), entre outros, que indicam que muitos dos conteúdos da FMC apresentam as características necessárias para TD definida por Chevallard e se adéquam às regras de Astolfi.

3 A PROPOSTA DIDÁTICA E SUA APLICAÇÃO

A proposta didática apresentada neste texto decorre da dissertação de mestrado profissional de um dos autores, Alisson (2016). A estruturação da mesma tem como intuito proporcionar discussões sobre a TRR e a TRG no âmbito de um curso de formação de professores de Física. O foco esteve atrelado em proporcionar uma sequência de atividades que pudessem ser analisadas pelos estudantes e futuramente subsidiassem suas aulas. Neste sentido, a sequência foi estruturada na forma de atividades voltadas ao ensino médio. As respectivas atividades foram basicamente fundamentadas em textos e materiais disponibilizados aos alunos, seguindo metodologicamente uma proposta de orientação construtivista, na qual a construção do conhecimento é decorrente de um processo de interação entre o sujeito e o objeto. Para tanto, as atividades foram desenvolvidas tendo como referencial a necessidade de que os estudantes sejam protagonistas de sua aprendizagem, dentro de uma metodologia ativa, na qual a sua interação com o professor é o aspecto central.

A proposta foi aplicada em uma das disciplinas pedagógicas (Ensino de Física I) do curso de Licenciatura em Física da Universidade de Passo Fundo (UPF). Destaca-se que os alunos participantes não haviam tido contato com os conteúdos de FM até o momento da aplicação no curso de Física em desenvolvimento, e nesse sentido foi possível analisar a viabilidade da proposta em termos do processo de construção dos conceitos. A turma era composta por 17 alunos, sendo nove do sexo masculino e oito do sexo feminino. Os encontros ocorreram uma vez por semana, à noite, no período de outubro a novembro de 2015, totalizando cinco encontros, cada qual com quatro horas-aula. A participação e a argumentação dos estudantes durante a realização das atividades foram incentivadas durante todos os encontros.

A seguir relata-se as atividades desenvolvidas em cada um dos encontros, entretanto, por limitações textuais não é possível incluir o detalhamento de cada uma delas. O texto na íntegra está disponibilizado na página do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

Enc 1 - Foi apresentado e discutido o objetivo da proposta didática e aplicado o questionário pré-teste. Seguidamente, iniciaram-se atividades que abordam a relatividade clássica de Galileu e Newton. Como ferramenta didática, foram utilizados alguns experimentos de pensamento e de laboratório didático. Como subsidio para as discussões no encontro, foi entregue aos estudantes um texto para que lessem e tentassem responder às questões nele contidas. Estas atividades foram realizadas em grupos de três e quatro estudantes. Para finalizar foi realizado um experimento em laboratório didático para discutir o conceito de referencial inercial (exemplo importante para compreender alguns aspectos, principalmente no que diz respeito à TRG) - (GIACOMELLI; PÉREZ, 2016).

Enc 2 – Foram introduzidos e discutidos os postulados de Einstein para a TRR, assim como os conceitos de relatividade da simultaneidade e dilatação temporal. Como subsidio para iniciar as discussões foi proposto um experimento mental - a experiência da surfagem no feixe de luz. Para conduzir e viabilizar a realização do experimento mental por parte dos estudantes foi entregue um texto de apoio aos mesmos.

Antes de formalizar as questões em discussão, utilizou-se uma atividade experimental de caráter introdutório. Seguidamente foram projetadas sequências de imagens utilizando o recurso do PowerPoint e uma simulação computacional. Por fim foi deduzida a equação da dilatação temporal e discutido o seu significado físico.

Enc 3 - No terceiro encontro, para retomar os conteúdos do encontro anterior foi realizada uma discussão norteada pela apresentação de vídeos. Na sequência, foi trabalhado o conteúdo relacionado à contração das distâncias. Para tal foi efetuada uma atividade prática. Após a realização dessa atividade de caráter introdutório, foi formalizado o conceito de contração das distâncias no âmbito da TRR.

Enc 4 – Neste encontro, se iniciaram as discussões referentes à TRG. Os tópicos trabalhados nesse encontro foram: princípio da equivalência e a relatividade do tempo no âmbito da TRG. Para introduzir ambos, foram utilizados dois experimentos mentais.

Para reforçar os conceitos foi efetuada uma discussão, mediada pelo professor, sobre o tema norteador viagens no tempo abordado no filme interestelar, além de se realizar a exibição de alguns vídeos abordando a temática. Ao término da aula, foram propostas algumas questões e exercícios.

Enc 5 - Foram trabalhados tópicos referentes ao tema espaço curvo e deflexão da luz. Para introduzir o conceito de espaço curvo, foram efetuadas duas atividades práticas. Após as análises, discussões e explicações decorrentes das atividades efetuadas foi proposta uma seção

de resolução de exercícios, o que ocorreu em grupos. No final deste encontro, aplicou-se o questionário de pós-teste.

4 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

Em termos metodológicos o estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, a qual, conforme Triviños (1994), busca compreender e analisar a realidade, possibilitando ao mesmo tempo compreender as atividades de investigação que podem ser específicas do estudo e identificar os traços comuns presentes nos dados e que podem responder às indagações da pesquisa. Essa tem sido a opção da maioria das investigações em educação, que podem ou não se servir dos dados quantitativos como forma de subsidiar as discussões de natureza qualitativa. Esse foi o caso do presente estudo, que buscou, por meio dos seus instrumentos de coleta de dados, mesclar o quantitativo com o qualitativo, de modo a fornecer uma discussão sobre a pertinência da proposta didática em análise.

Para a coleta de dados, a pesquisa recorreu a dois instrumentos que permitem apresentar e discutir os dados tanto de forma quantitativa, como qualitativa na perspectiva de uma interpretação à luz do referencial teórico construído. Os instrumentos utilizados para a coleta de dados foram: questionários de pré- e pós-teste e diário de bordo.

Os questionários de pré- e pós-teste foram aplicados em dois momentos distintos: anterior à aplicação (pré-teste) e posterior à aplicação da proposta (pós-teste). Ambos questionários são formados pelo mesmo conjunto de 19 questões que se destinam a verificar conhecimentos específicos vinculados à TRR e à TRG, destaca-se que o principal objetivo foi verificar quais são os conhecimentos dos integrantes do grupo sobre os assuntos. A opção pelo mesmo instrumento no pré- e no pós-teste, em termos dos conhecimentos específicos, decorre da possibilidade de traçar comparações e fazer inferências sobre a efetividade da proposta em termos de apropriação dos conceitos abordados.

Ainda no pré-teste, foi incluído um questionário complementar formado por 5 questões objetivas que visam evidenciar se os alunos tiveram aulas sobre tópicos da TRR e da TRG no ensino médio; se os assuntos associados a esses tópicos despertam interesse e curiosidade nos estudantes envolvidos; se estes consideram importante estudar tais conteúdos para a sua formação; e se julgam importante o estudo desses tópicos no ensino médio.

O diário de bordo foi utilizado na perspectiva de Zabalza (2004), sendo entendido como espaço designado a registros, anotações e reflexões individuais sobre um determinado processo de aprendizagem. De acordo com o autor [10, p. 12]: “Os diários contribuem de uma

maneira notável para o estabelecimento dessa espécie de círculo de melhoria capaz de nos introduzir em uma dinâmica de revisão e enriquecimento de nossa atividade como professores”. No diário, foi possível proceder a anotações relacionadas às experiências vivenciadas e observadas no contexto da sala de aula durante a aplicação da proposta didática, registrando as ações desenvolvidas e a movimentação dos estudantes. A natureza pessoal do diário resulta ao professor e/ou pesquisador o seu olhar sobre a sala de aula e sobre os alunos, bem como uma reflexão acerca de sua ação.

No caso do presente estudo, ele foi utilizado como instrumento para coleta de dados e, dessa forma, seu foco principal passou a ser os registros da relação entre a proposta didática e os alunos, buscando discutir a viabilidade didática da proposta. Tais registros ocorreram sempre ao final das aulas e foram realizados de forma livre, mantendo-se como espinha dorsal do registro as ações e as observações do pesquisador.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto a TRR como a TRG tem a potencialidade de proporcionar uma visão mais ampla e diferenciada do mundo natural. Noções de tempo, espaço e matéria fazem parte do cerne de qualquer teoria física. A abordagem da TRR e da TRG (assim como da FM, de forma geral) no ensino médio é amplamente recomendada pelas pesquisas na área de Ensino de Física, além de ser amparada pela legislação, conforme mencionado na introdução da presente pesquisa.

Porém, mesmo que se justifique a necessidade de se abordar a FM no ensino médio, a sua inserção nesse nível de ensino ainda enfrenta alguns obstáculos. Dentre essas dificuldades, estão à falta de material acessível ao professor e a necessidade de preparação desses professores desde seus cursos de formação inicial para abordarem tais temas com os alunos no ensino médio. Todas essas evidências remetem a uma outra necessidade: a de se oferecer alternativas para que o professor de Física do ensino médio se sinta subsidiado ao trabalhar esses conteúdos. Nesse sentido é que foi elaborada a proposta apresentada neste estudo.

Em termos dos resultados, o estudo mostrou por meio da análise dos questionários de pré-teste e pós-teste, uma significativa evolução dos conhecimentos da maioria dos estudantes. Essa evolução ocorreu em relação a uma grande parte dos conceitos, porém, em relação a alguns deles não foi possível verificar essa evolução de forma significativa. Isso pode ter ocorrido porque, em alguns casos, os estudantes já possuíam um conceito formal

estabelecido antes mesmo da aplicação da proposta e também porque, em outros casos, seria necessário mais tempo e maior aprofundamento para se construir o conceito de forma mais adequada.

Utilizando-se o diário de bordo como ferramenta de registro das aulas e de posterior análise, foi possível evidenciar a aceitação dos estudantes no decorrer dos encontros. No geral, o assunto despertou significativamente o interesse da maioria dos estudantes. A utilização de diferentes ferramentas metodológicas, tais como experimentos mentais e de laboratório didático, vídeos, simulações, mostrou-se de extrema valia no processo de ensino-aprendizagem.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTOLFI, Jean Pierre et al. *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelas: De Boeck & Larcier S. A., 1997. (Pratiques Pédagogies).

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70; LDA, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna?. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

CHEVALLARD, Y. *La Transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique, 1991.

GIACOMELLI, Alisson C. *Teoria da Relatividade: uma proposta didática para o ensino médio*. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

GIACOMELLI, Alisson C.; PÉREZ, Carlos A. S. *Compreendendo a teoria da relatividade: dos fundamentos às consequências*. Produto educacional, Universidade de Passo Fundo, 2016.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, 2001.

REZENDE JUNIOR, M. F. *Fenômenos e a introdução de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio*. 2001. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. A Transposição Didática aplicada a teoria contemporânea: A Física de Partículas elementares no Ensino Médio. In: **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Londrina, 2006.

TERRAZZAN, Eduardo A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TRIVIÑOS, Augusto N. S. *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

ZABALZA, Miguel A. *Diários de aula: contributo para o estudo dos dilemas práticos dos professores*. Porto: Porto Editora, 1994.