

RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA EXPERIÊNCIA COM MOTIVAÇÃO NA HISTÓRIA¹

Jeferson Fernando de Souza Wolff [jefersonwolff@terra.com.br]

Escola Técnica Municipal Farroupilha - 95840-000, Triunfo, RS – Brasil.

Colégio Cenecista Carlos Maximiliano – 96700-000, São Jerônimo, RS – Brasil.

Mestrado Profissional em Ensino de Física - Instituto de Física – UFRGS – Caixa Postal, 15051.

Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil.

Paulo Machado Mors [mors@if.ufrgs.br]

Instituto de Física – UFRGS – Caixa Postal, 15051.

Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil.

Resumo

Relatamos a experiência da aplicação de um material didático com uma abordagem histórica e conceitual para o ensino da Teoria da Relatividade Especial (TRE) a alunos do ensino médio, dentro das atividades curriculares. O material foi aplicado a três turmas de terceiro ano do ensino médio, sendo duas turmas da Escola Técnica Municipal Farroupilha, localizada no município de Triunfo-RS e uma turma do Colégio Cenecista Carlos Maximiliano, localizado no município de São Jerônimo-RS. O texto dos alunos possui uma abordagem histórica e conceitual sobre a evolução do pensamento da humanidade até a construção da TRE, contemplando os principais fatos históricos, desde Aristóteles até as conclusões de Albert Einstein. Dentro da parte conceitual enfocamos os seguintes conteúdos: simultaneidade, dilatação temporal, contração do espaço, adição de velocidades, energia relativística e paradoxo dos gêmeos. A proposta foi avaliada por um questionário aplicado antes e após o material ter sido trabalhado, além de entrevistas com alunos terem sido realizadas no final. Como referenciais teóricos, utilizamos a teoria sócio-interacionista de Vigotsky, e a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e Novak. Além disso, realizamos uma análise de alguns livros didáticos que são utilizados pelo ensino médio nacional, no que diz respeito à TRE. Acreditamos termos mostrado que é possível, e necessária, a implementação da TRE como atividade curricular do ensino médio.

Palavras-chave: Relatividade Especial, Ensino Médio, História da Física, Aprendizagem Significativa.

INTRODUÇÃO

Além dos conteúdos da Física Clássica que tradicionalmente são ensinados, é fundamental, hoje, que também sejam trabalhados, na escola, os conhecimentos gerados pelos físicos a partir do início do século vinte, denominados geralmente de Física Moderna e Contemporânea. O cotidiano gera novos desafios que, cada vez mais, requerem uma boa preparação do cidadão, incluindo-se aí uma noção das áreas científicas. Citando Pietrocola [5], *Hoje, ser Alfabetizado Científica e Tecnologicamente (ACT) é uma necessidade do cidadão moderno.*

Consideramos que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea devem ser introduzidos já no ensino médio e, como ponto de partida, a Teoria da Relatividade Especial (Restrita) parece-nos uma boa opção, já que, historicamente, esta foi a precursora do que hoje

¹ Trabalho originalmente publicado nas Atas do I Encontro Estadual de Física – RS, 2005 (www.if.ufrgs.br/mpef/ieefis/Atas_IEEFIS.pdf).

chamamos de Física Moderna, mesmo já sendo, por alguns, considerada como parte da Física Clássica.

A teoria da Relatividade Especial sempre teve um grande apelo para o público em geral. É freqüente observarmos a utilização da relação $E = m.c^2$, sem maiores esclarecimentos sobre seu real significado. Neste ano (2005), esta teoria completa seu centenário e esta é uma ótima oportunidade para começarmos a tratá-la sistematicamente em sala de aula, no ensino médio. Esse esforço fará também com que o tema seja mais divulgado fora da sala de aula e, inclusive, alguns mitos poderão ser derrubados.

Conforme Rodrigues [7], *A inserção da TRR² se funda basicamente em três aspectos: a mudança de padrão de raciocínio e interpretação da realidade aliada à abstração e sofisticação do pensamento, graças à concepção de tempo como uma quarta dimensão; a possibilidade dessa teoria servir de porta de entrada para outros tópicos da FMC e, finalmente, pela necessidade de abordagem de um tema tão presente na sociedade através da divulgação científica.*

Os Parâmetros Curriculares Nacionais [3] (PCNs) nos alertam: *Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais.*

Logo, tratar a Relatividade Especial no ensino médio é uma necessidade óbvia quando lembramos que, para a maioria dos alunos, essa será a única oportunidade de estudar aspectos básicos dessa teoria. No entanto, a precariedade dos livros-texto disponíveis, no que diz respeito ao assunto, não incentiva os professores a planejarem seu ensino.

A mídia, em geral, tem divulgado os conceitos da teoria da Relatividade Especial com bastante freqüência, principalmente este ano em que essa teoria completa o seu centenário. Como exemplo, podemos citar canais televisivos, como *Discovery Channel*, revistas como a *SuperInteressante*, *Galileu Galilei*, *Ciência Hoje* e a *internet*, que são de acesso fácil aos alunos e que apresentam as mais diversas curiosidades da Ciência, difundindo o que ocorre na comunidade científica.

Porém, perguntamos: será que os nossos alunos possuem a capacidade de compreender de forma correta essas diversas formas de divulgação científica? Sabe-se que a *internet*, principalmente, e até mesmo algumas revistas, mesmo quando provêm de uma proposta editorial séria e confiável, por vezes transmitem conceitos muito superficiais ou errôneos. Podemos citar Rodrigues [7]: *O estudo da física deve contribuir na formação de um cidadão para que este possua formas de atuar com discernimento frente a esse mundo modificado! A sociedade deve ser capaz de absorver as novas produções científicas, entendendo minimamente as informações que lhe chegam através dos meios de comunicação!* Então, estes meios não podem prescindir da escola, que tem a obrigação de orientar o estudo do aluno, desempenhando o seu papel de facilitadora na aquisição do conhecimento e na formação de um cidadão consciente e crítico frente ao grande número de informações que recebe todos os dias.

No entanto, muitas escolas do ensino médio ainda não estão preparadas para a inserção de conteúdos, como o da teoria da Relatividade Especial. E, mesmo que a escola esteja consciente da validade de se tratar a Teoria da Relatividade ainda no ensino médio, esbarra na dificuldade em encontrar material didático conveniente para esse mister. Um texto que trate o assunto no nível adequado, com uma contextualização histórica apropriada, é de muita valia para o professor.

² TRR – Teoria da Relatividade Restrita (ou Especial).

Foi visando a este objetivo que nos propusemos a elaborar um texto que contemple os aspectos acima enunciados. Junto a isso, organizamos um material de apoio ao professor. A proposta foi aplicada em três turmas de terceira série do ensino médio, de duas escolas diferentes: duas turmas da Escola Técnica Municipal Farroupilha, localizada no município de Triunfo-RS e a outra turma do Colégio Cenecista Carlos Maximiliano, localizado no município de São Jerônimo-RS, sendo a primeira, escola pública e a segunda, particular.

Utilizamos como apoio pedagógico a teoria sócio-interacionista de Vygotsky [10] e a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e Novak [2,4].

DESCRIÇÃO DO MATERIAL

Consideramos válida a idéia de produção de um material visando à inserção da teoria da Relatividade Especial no ensino médio, principalmente devido a precariedade com que os livros didáticos abordam esse assunto.

Então, elaboramos um material que possui um texto para os alunos e um texto para o professor. No texto dos alunos demos dois enfoques: um histórico e outro conceitual. No texto de apoio ao professor, procuramos dar subsídio para o ensino dos conceitos básicos da teoria da Relatividade Especial.

Na abordagem que contempla os aspectos históricos, do texto dos alunos, nos propusemos a apresentar a evolução dos principais aspectos do conhecimento científico, que acabou por culminar na teoria da Relatividade Especial.

Dentro deste contexto, destacamos o pensamento de Aristóteles, que prevaleceu até o século XVI, onde predominava a visão empirista/indutivista. A seguir, destacamos a importância dos trabalhos de Galileu, em especial o que Einstein chamou de Relatividade galileana. Um dos pontos de grande relevância da obra de Galileu foi a mudança de paradigma do pensamento filosófico (aristotélico) para um pensamento mais matemático e experimental. Claro que não foi Galileu quem mudou este paradigma sozinho. Podemos lembrar, como trabalhos fundamentais para tal mudança, os de Tycho Brahe, Descartes e Johannes Kepler.

O texto dos alunos também contempla alguns fatos da obra de Isaac Newton, destacando as suas três leis do movimento, a transformação de velocidade e aceleração de um referencial inercial para outro e o importante fato da equivalência desses referenciais para as leis da Mecânica.

E, finalmente, descrevemos os principais fatos da evolução do conhecimento do Eletromagnetismo, desde as primeiras observações na Grécia até a unificação da Eletricidade com o Magnetismo por Maxwell. Com esta unificação, passou-se a ter alguns paradoxos, dentre os quais um resultou na teoria da Relatividade Especial em 1905.

Pareceu-nos muito oportuno esse momento, para dar ao aluno a idéia do que é o fazer Ciência, procurando corrigir erros de concepção que os alunos tenham a esse respeito, como por exemplo, a idéia de que o cientista é um gênio que elabora todos os seus trabalhos de maneira individual.

Na parte conceitual, foram abordados os principais conceitos da teoria da Relatividade Especial como a relatividade da simultaneidade, dilatação temporal, contração do comprimento e energia relativística, como conseqüências dos dois postulados.

Os postulados foram apresentados como uma consequência do desenvolvimento científico da época. Acharmos essencial que se fizesse algum comentário sobre as consequências dos dois postulados.

Como consequência direta dos postulados, em especial o segundo, a noção de simultaneidade foi modificada, deixando de ser absoluta. Para uma melhor compreensão deste conceito usamos uma figura, para ilustrar a simultaneidade de dois eventos. Consideramos este conceito fundamental para o desenvolvimento da Relatividade Especial por ser o único perceptível pelos nossos alunos. Como exemplo, podemos citar a diferença entre intervalos de tempo de uma programação enviada via satélite.

A dilatação temporal foi apresentada como uma consequência do segundo postulado. Para a compreensão deste conceito, achamos conveniente realizar a dedução da equação da dilatação temporal do texto dos alunos, através de uma experiência de pensamento.

A contração do espaço foi apresentada também como uma consequência dos postulados. Assim como na dilatação temporal, realizamos a dedução da equação da contração do espaço. Buscamos enfatizar que a contração ocorre na mesma direção do deslocamento, tratando-se de uma contração real, mas não material. Ela ocorre no espaço (medido) e não no objeto em movimento, diferentemente da interpretação dada por Lorentz e FitzGerald. Acharmos conveniente apresentar um tópico descrevendo a diferença entre a interpretação dada por estes autores e aquela dada por Einstein.

Consideramos fundamental no ensino da Relatividade Especial o tópico de adição de velocidades, pois temos que abandonar a relatividade galileana para que os postulados de Einstein sejam atendidos. Iniciamos este tópico relembrando a Relatividade galileana, utilizando um exemplo onde a velocidade relativa entre dois corpos é maior que a velocidade da luz, estando desta forma em desacordo com o segundo postulado.

Com a Relatividade Especial, o conceito de energia passou a ser mais abrangente, pois massa e energia passam a ser equivalentes. Não nos detivemos em demonstrar a dedução da equação da energia relativística, pois estávamos mais preocupados com a interpretação da equivalência massa-energia. Cuidado especial foi tomado no tratamento sobre a impossibilidade de uma partícula massiva ser acelerada até a velocidade da luz.

Tivemos o cuidado de enfatizar a visão de que tal impossibilidade é devida à necessidade de se ter uma quantidade infinita de energia, diferente da visão de muitos autores, que consideram o conceito de massa relativística. Podemos citar Serway e Jewett [9]: *Alguns tratamentos mais antigos da relatividade apresentavam o princípio de conservação do momento a altas velocidades utilizando um modelo no qual a massa de uma partícula aumenta com a velocidade. Você pode ainda encontrar essa noção de “massa relativística” em suas leituras extras, especialmente em livros mais antigos. Esteja ciente de que essa noção não é mais aceita amplamente, e que a massa é considerada como invariante, independentemente da velocidade. A massa de um corpo em todos os referenciais é considerada como aquela medida por um observador em repouso em relação ao corpo.*

Dentre tantos paradoxos que surgiram com a Relatividade Especial, o paradoxo dos gêmeos talvez seja o mais conhecido. Assim, achamos apropriado dedicarmos um capítulo para o desenvolvimento deste tópico. Buscamos enfatizar que a solução do paradoxo não pode ser dada por conceitos da Relatividade Especial.

Na elaboração do texto dos professores levamos em consideração que muitos têm uma sobrecarga de trabalho, não sobrando tempo para a elaboração e produção de materiais para o ensino de um novo conteúdo. Sendo assim, no texto de apoio aos professores buscamos contemplar

a aplicabilidade da proposta pelos docentes, com subsídios para a utilização do material elaborado, bem como com exemplificações e indicação de bibliografias auxiliares.

O material dos professores foi elaborado somente após a aplicação do texto dos alunos, isto para que se pudesse verificar quais deveriam ser as ênfases a serem dadas.

Tivemos o cuidado de optar por uma abordagem que busque a interação entre professor e aluno, estimulando os professores para que identifiquem os conhecimentos que seus alunos possuem (subsúncos) e verificando se estes são suficientes para que se tenha uma aprendizagem significativa, contemplando, dessa forma, as teorias de aprendizagem de Vygostky, Ausubel e Novak.

De acordo com a nossa experiência na aplicação do material com os alunos, dividimos o material dos professores em tópicos e sugerimos o número de aulas que consideramos suficiente para o desenvolvimento de cada um deles. Então, para cada um dos tópicos iniciamos apresentando quais são os objetivos a serem alcançados, além de comentários pertinentes. Também, sugerimos os exercícios a serem resolvidos em cada aula. Como cada tópico do texto dos alunos possui alguns exercícios, colocamos no material dos professores as respostas a estas questões.

Para os tópicos históricos, buscamos apresentar ao professor uma maneira de trabalho que o faça levar seus alunos a perceberem que a ciência evolui de maneira contínua e que é necessário possuir o conhecimento anterior para que se possa desenvolver o novo conhecimento. Além disso, buscamos apresentar o fato de que a teoria da Relatividade Especial foi elaborada a partir de problemas surgidos com a teoria Eletromagnética.

Os tópicos referentes à abordagem conceitual, presentes no material dos professores, sugerem que seja necessária uma abordagem para que ocorra uma mudança conceitual junto aos alunos, principalmente nas idéias de espaço e tempo. Dentre os principais enfoques que abordamos no texto dos professores, consta o de que estes desenvolvam, com os alunos, além das mudanças ocorridas com os conceitos de espaço e tempo, também a interpretação dada por Einstein para a contração do comprimento, comparando-a com a interpretação dada por FitzGerald.

Aqui, como no texto dos alunos, preocupamo-nos em tratar com cuidado a questão da impossibilidade de se acelerar uma partícula massiva até a velocidade da luz.

Ainda neste texto, sugerimos algumas referências bibliográficas para aprofundamento no conhecimento da teoria da Relatividade Especial, como por exemplo, a indicação da obra de Ricci [6] e o *site* do Professor Carlos Alberto dos Santos [8].

APLICAÇÃO DA PROPOSTA

O texto dos alunos foi aplicado em três turmas diferentes, sendo duas de escola pública, Escola Técnica Municipal Farroupilha, e uma turma de escola particular, Colégio Cenecista Carlos Maximiliano, totalizando 87 alunos concluintes do ensino médio.

Deu-se muita importância ao debate em aula, partindo do texto dos alunos, pois estas foram as principais formas de aquisição dos conceitos da Relatividade Especial. Desta maneira, pudemos observar a relevância que a teoria sócio-interacionista de Vygotsky possui para o aprendizado. Para o conteúdo, como é o caso da Relatividade Especial, que se encontrava na zona de desenvolvimento proximal, a possibilidade da troca de informações com o professor foi extremamente importante para esses alunos.

O desenvolvimento do projeto teve início no dia 15 de outubro de 2004 com a turma do Colégio Maximiliano, seguida pelas duas turmas da Escola Farroupilha, iniciando em 20 de outubro. As aulas estenderam-se por praticamente um mês e meio, totalizando 20 horas-aula em cada turma. A aplicação do projeto deu-se até 23 de novembro na Escola Farroupilha e até 02 de dezembro no Colégio Carlos Maximiliano. É importante ressaltar que a carga horária da disciplina de Física na Escola Farroupilha corresponde a três aulas semanais e, no Colégio Maximiliano, apenas duas na semana. Por este motivo, o início do trabalho ocorreu na segunda escola, sendo esta também a última a terminar a aplicação do material.

PRINCIPAIS RESULTADOS

Percebemos, ao final da aplicação da proposta, uma mudança significativa nos subsunçores dos alunos, tanto no que diz respeito a questões de conhecimento geral da Física como, por exemplo, a mudança do paradigma da existência do método científico, como nos conceitos da Relatividade Especial. Apesar da dificuldade em mudar o conhecimento que os alunos já possuíam, como o de tempo, após a aplicação do material conseguimos perceber que para a grande maioria dos alunos ocorreu uma mudança nos seus subsunçores, tornando-se estes mais abrangentes.

Conseguimos perceber a mudança conceitual nos alunos através do questionário aplicado antes e após o projeto, após a avaliação por prova e, principalmente, por meio das discussões ocorridas em sala de aula.

Ao analisarmos algumas obras didáticas nacionais, verificamos que há uma superficialidade nelas no que se refere à abordagem da teoria da Relatividade Especial. Esses textos não promovem a necessária ruptura com o senso comum, que a Relatividade Especial exige, como por exemplo, a mudança das concepções galileanas que possuímos sobre tempo e espaço. Em muitas obras a maneira como os conceitos são apresentados acabam por comprometer o real significado da teoria da Relatividade Especial.

Um outro ponto a ser levado em consideração que dificulta a implementação da teoria da Relatividade Especial no ensino médio é o despreparo e a resistência ao novo que muitos professores possuem. Arruda [1], em sua tese de doutorado, ao trabalhar com um grupo de professores, que chamou de Grupo de Física Moderna (GFM), ressaltou, a respeito da dificuldade e da insegurança apresentada pelos professores para a inserção dos conteúdos de Física Moderna: *em diversas ocasiões os professores manifestaram insegurança quanto à sua formação e, especificamente, dúvidas quanto à sua capacidade de tratar tais assuntos. Apesar de várias horas-aula sobre diversos temas de FMC abordados durante os encontros, muitos ainda não se sentiam capazes de desenvolver uma proposta em sala de aula.* Podemos verificar que mesmo quando possuem um acompanhamento, como foi o caso do GFM, os professores ainda não se sentem preparados, ou ainda são resistentes ao novo.

O pleno conhecimento do professor sobre a teoria da Relatividade Especial, ou qualquer outra área da Ciência, não é mais condição suficiente para a atuação no ensino. É necessário, também, ter uma formação em disciplinas como a epistemologia e outras afins. Podemos citar Arruda [1]: *Essa temática não deve ser encarada como uma “perda de tempo” pelo professor preocupado com a efetiva aprendizagem do estudante...* Em muitos casos, os professores estão mais preocupados com o conteúdo do que com a forma com que estes devem chegar até os alunos. Não que isso seja mais importante que o conteúdo, mas se não houver uma comunicação adequada, no nível de conhecimento do aluno, será em vão o trabalho do professor e, dificilmente, o aluno terá uma aprendizagem significativa. Ser professor não é ter apenas conhecimento do conteúdo, é necessário ter ciência das teorias de aprendizagem e fazer uso delas em sua atuação enquanto docente.

Além dos professores se preocuparem em como devem ensinar, é fundamental que saibam o que ensinar, privilegiando os conceitos que estiverem mais relacionados com o cotidiano dos alunos. Conforme Arruda: *Os conteúdos devem ser reduzidos à sua essência. Ou seja, é preferível tratar dos conceitos fundamentais, do que adicionar informações que estão destinadas a serem esquecidas rapidamente. É mais importante também privilegiar os conceitos e não a parte formal (matemática) das teorias.*

A abordagem histórica no texto dos alunos propiciou-lhes a construção de um conhecimento mais crítico e abrangente da evolução científica. Contribuiu para desmistificar a figura do cientista como um gênio, que de forma individual descobre toda a sua teoria, omitindo o papel da comunidade científica na construção das teorias.

Durante as aulas e através dos depoimentos dos alunos, pôde-se verificar a importância que a abordagem histórica teve neste projeto. Acreditamos ter aproximado o aluno da realidade e dos conflitos na transição de uma teoria para outra, e que eles puderam verificar que a Ciência não é algo definitivo e estático, mas sim que evolui. Pudemos verificar a importância dada pelos alunos à abordagem histórica em seus depoimentos como, por exemplo, nestes três trechos que seguem; Guilherme: *Foi muito legal a parte histórica*; Natália: *No início nem parecia ser Física, era história, mas depois consegui entender o porquê dessa parte histórica, é que a Física sempre evolui e não é desenvolvida de forma independente*; Cristiane: *Gostei da parte histórica, pois consegui entender como foi o crescimento da Física.*

A abordagem histórica gerou nos alunos uma certa ansiedade pelo conteúdo que viria, e também uma melhor aceitação e compreensão da teoria. Muitos acharam estranha esta forma de abordar um conteúdo de Física, pois estavam mais acostumados a uma abordagem formal (matemática) ao invés da abordagem histórico-conceitual.

Os alunos conseguiram diferenciar a Relatividade de Galileu da Relatividade Especial, mesmo tendo uma certa resistência em aceitar os conceitos da Relatividade Especial devido à dificuldade de observar esta teoria em nosso cotidiano, sendo necessária, dessa forma, uma aprendizagem bastante abstrata. Mas, após a aplicação do material, a mudança conceitual ocorrida com os alunos foi bastante expressiva.

Outra questão que foi absorvida de forma bastante significativa é a necessidade de uma quantidade infinita de energia para que um corpo possa atingir a velocidade da luz. Alguns alunos já haviam lido ou ouvido reportagens a respeito do assunto, que abordavam a impossibilidade de um corpo atingir a velocidade da luz devido ao aumento de massa. Sendo assim, para esses alunos foi necessária uma atenção especial para que ocorresse, de fato, uma mudança em seus subsunçores.

É importante salientar que alguns alunos demonstraram em suas falas, durante as aulas, que acharam um tanto estranho o conteúdo ter sido apresentado de forma qualitativa, sem muitas fórmulas. Em função destes comentários, podemos dizer que nossos alunos têm uma visão de uma Física que, obrigatoriamente, deve ser apresentada mais como um formulário, do que de forma integrada, com seus conceitos e teorias apresentados como parte da história da civilização.

Durante a aplicação do material foi possível constatar que o novo conceito ancorou-se nos conhecimentos já existente nos alunos, modificando, desta forma, os seus subsunçores. Isto, logicamente, deu-se com os alunos que apresentavam uma predisposição em aprender. Podemos exemplificar destacando conceitos de espaço e tempo. A grande maioria dos alunos possuía, neste aspecto, um conhecimento com enfoque newtoniano, onde espaço e tempo são considerados absolutos, invariantes. Mas, após o trabalho em aula, estes conceitos passaram a ser relativos. Os subsunçores de espaço e tempo não deixaram de existir, mas o que ocorreu foi uma modificação dos subsunçores existentes, pois houve interação com o novo conceito, dando uma nova dimensão para o subsunçor existente.

Enfim, podemos considerar que, apesar da dificuldade de se aceitar muitos dos conceitos apresentados, pouco convencionais, a participação dos alunos foi bastante satisfatória. Por meio de inúmeras perguntas, os alunos evidenciaram a sua dificuldade em aceitar os novos conceitos, tais como dilatação do tempo e contração do espaço. Demonstraram que, de forma geral, interessaram-se pelo assunto, até mesmo mais do que em conteúdos comumente tratados em aula, conforme podemos verificar no comentário do aluno Diego: *Não achei esse conteúdo chato, bem pelo contrário, é interessante*; ou, no comentário do aluno João Paulo: *Esse conteúdo foi um dos que eu mais gostei, porque é muito diferente de como estamos acostumados em nosso dia-a-dia*. Neste ponto, podemos evidenciar o valor da teoria de Vygotsky, que dá importância ao diálogo entre alunos e professores. Com certeza, este diálogo foi fundamental para que o aluno absorvesse o conteúdo que estava em sua zona de desenvolvimento proximal.

CONCLUSÃO

O principal resultado deste projeto foi a verificação da possibilidade de se trabalhar no ensino médio a teoria da Relatividade Especial. O texto dos alunos, por nós desenvolvido, atendeu às necessidades dos estudantes. Claro que para a aplicação deste material é necessário que o professor conheça os subsunçores dos alunos e é imprescindível que o professor interaja com eles de uma forma não-unilateral.

Aos interessados, enviaremos o arquivo com o material produzido, o texto dos alunos e o texto de apoio ao professor. Contactos devem ser feitos através do endereço jefersonwolff@terra.com.br.

Este trabalho resultou na Dissertação de Mestrado de um dos autores (JFSW), apresentada ao Programa Mestrado Profissional em Ensino de Física, da UFRGS, em 12 de agosto de 2005. Os autores agradecem o apoio recebido da CAPES.

REFERÊNCIAS

1. ARRUDA, S. M. *Entre a inércia e a busca: reflexões sobre a formação em serviço de professores de física do ensino médio*. 2001. 230 f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
2. AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625 p.
3. BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília, MEC/SEMT, 1999.
4. NOVAK, J. D. *Uma teoria da educação*. São Paulo: Pioneira 1981. 225 p.
5. PIETROCOLA, M. *Ensino de física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001. 236 p.
6. RICCI, T. F. *Teoria da relatividade especial: física para secundaristas*. Porto Alegre: Instituto de Física-UFRGS, 2000. 36 p.
7. RODRIGUES, C. D. O. *Inserção da teoria da relatividade no ensino médio: uma nova proposta*. 2001. 163 f. Dissertação (Mestrado em Educação) Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

8. SANTOS, C. A. dos. *Teoria da relatividade*. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/einstein>. Acesso em: 23 maio 2005.
9. SERWAY, R. A; JEWETT JR., J. W. *Princípios de física*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005. v. 1.
10. VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. 5.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1994. 191 p.