

## AMPLIANDO O CONCEITO DE TEMPO ATRAVÉS DA INSERÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO

### BROADENING STUDENT'S CONCEPTION OF TIME BY TEACHING THE SPECIAL THEORY OF RELATIVITY IN HIGH SCHOOL

Ricardo Avelar Sotomaior Karam<sup>1</sup>  
Débora Coimbra<sup>2</sup>, Sônia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina/Departamento de Física/ricardokaram@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Carlos /Departamento de Física/ddebora@power.ufscar.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Catarina /Departamento de Física/sonia@fsc.ufsc.br

#### Resumo

Neste trabalho procuramos analisar a pertinência de uma discussão fundamentada sobre o conceito de tempo para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita em nível médio. Baseados na concepção de aprendizagem, na qual objetiva-se edificar as zonas proximais de um perfil conceitual, realizamos uma intervenção em sala de aula que, entre outros objetivos, buscou ampliar o conceito de tempo que os estudantes possuíam, por meio da construção da noção de tempo relativístico. Elaboramos um instrumento para analisar as idéias dos estudantes sobre tempo (pré-teste), que também serviu para fundamentar a opção metodológica adotada na intervenção. Neste sentido, procuramos organizar a análise dos resultados do questionário inicial, apresentando a descrição de alguns episódios de ensino relevantes e as respostas dos educandos de modo a apontar a proficiência da metodologia escolhida.

**Palavras-chave:** Física Moderna no Ensino Médio; Tempo; Relatividade Restrita; Perfis Conceituais.

#### Abstract

This article analyzes the importance of a previous discussion about the concept of time when teaching special relativity in high school. Considering learning as a construction of new sections of a conceptual profile, we planned an intervention that, among other goals, intended to broaden the student's impressions of time, by adding the relativistic notion. In order to study the student's previous ideas of time, we elaborated a test, which also guided the methodological option adopted in the intervention. Thus, by studying the results obtained from the test, the descriptions of teaching episodes as well as the student's answers, we were able to infer the efficiency of the chosen methodology.

**Keywords:** Modern Physics in High School; Time; Special Relativity; Conceptual Profile.

## INTRODUÇÃO

*Compositor de destinos  
 Tambor de todos os ritmos  
 Tempo tempo tempo tempo  
 Entro num acordo contigo  
 [...]  
 E quando tiver saído  
 Para fora do teu círculo  
 Tempo tempo tempo tempo  
 Não serei nem terá sido*  
 (Oração ao Tempo, Caetano Veloso, 1979)

O ensino de Física tem dedicado pouco tempo para a discussão sobre o tempo. No Ensino Médio, este conceito aparece no início da Mecânica Clássica e desempenha um papel fundamental para o estudo da Cinemática. O movimento é descrito como uma variação da posição ao longo do tempo. Analogamente à noção de ponto para a geometria euclidiana, o tempo é apresentado como um conceito primitivo. Sendo assim, sem nenhuma reflexão sobre seus aspectos, ele passa a ser utilizado como parâmetro para as equações do movimento, e medido pelo relógio.

Esta abordagem é facilmente constatada pela ausência de uma discussão mais detalhada de concepções de tempo nos livros didáticos<sup>1</sup> destinados ao Ensino Médio. Alguns desses livros não apresentam explicitamente o conceito de tempo (Alvarenga e Máximo, 2000; Gonçalves Filho e Toscano, 2002), enquanto outros destacam que o mesmo não tem definição: “Tempo é uma noção primitiva e fundamental na descrição de qualquer movimento” (RAMALHO JR *et al.*, 1993, p.21), ou, “Estamos admitindo *intervalo de tempo* como noção intuitiva – que dispensa definição – obtida pela diferença entre dois instantes determinados” (GASPAR, 2000, p. 40).

Paradoxalmente, os estudos existentes sobre o desenvolvimento deste conceito, ao longo da história da ciência, evidenciam uma crescente importância dada ao tempo na evolução das teorias físicas (Martins, 2002). Por exemplo, ao alterar as transformações de Galileu de modo a compatibilizá-las com a teoria eletromagnética, Einstein reformulou profundamente o mesmo.

Abandonando a visão newtoniana de tempo absoluto, a relatividade restrita elevou o tempo à categoria de dimensão e, por consequência, o mesmo passou a ser dependente do estado de movimento do sistema de referência. Não se trata meramente de uma retomada da noção animista do tempo, uma vez que, sob o mesmo estado de movimento, as transformações temporais estão sujeitas às mesmas dependências em relação à velocidade. A compreensão desta mudança ontológica radical é fundamental para o entendimento dos pressupostos da teoria da relatividade.

Muitos trabalhos exploram o conceito de tempo em áreas variadas. No entanto, nas pesquisas sobre o ensino desse conceito, o mesmo tem aparecido imbricado no desenvolvimento de estudos sobre mecânica clássica e relatividade, conforme aponta Martins (2004). Pesquisas sobre o ensino da teoria da relatividade em nível de graduação apontam que os estudantes crêem na existência de um *tempo real*, evidenciando uma visão absoluta de movimento (Santos, 1986; Villani e Pacca, 1990) e, conseqüentemente, a crença na existência de um referencial privilegiado, em desacordo com o princípio da relatividade. Em relação ao ensino desta teoria em nível médio, Rodrigues (2001) sugere que, no primeiro ano sejam abordadas as concepções relativísticas de tempo e espaço,

---

<sup>1</sup> Livros didáticos são distribuídos pelas editoras e constituem a principal, senão única, fonte de referência para o preparo das aulas de um grande número de professores atualmente em exercício, de modo que um breve exame de seu conteúdo pode oferecer um panorama do ensino em sala de aula (Moreira, 2000; Bolzan, 2001).

partilhando da proposta de pulverização de tópicos de Física Moderna e Contemporânea ao longo do estudo dos conteúdos clássicos, nesse nível de ensino (Terrazan, 1992; Ostermann, 1999; Cavalcante, 1999).

Durante a intervenção piloto de um trabalho de pesquisa desenvolvido pelos autores, com objetivo de abordar tópicos da Teoria da Relatividade Restrita junto a estudantes do primeiro ano do Ensino Médio, ficou evidente a relevância da adoção de uma abordagem histórica e filosófica sobre o tempo, uma vez que, ao visar a superação dos obstáculos epistemológicos, ontológicos e sistêmicos identificados, obtivemos uma compreensão melhor da teoria por parte dos estudantes.

A análise dos perfis conceituais dos estudantes, revelados em um pré-teste, nos forneceu informações relevantes para a elaboração de atividades almejando a ampliação das zonas proximais do perfil conceitual sobre tempo. Esta escolha baseou-se na concepção de aprendizagem como a construção de novas zonas num perfil conceitual, de modo distinto das propostas de modelo de mudança conceitual que preconizam o abandono de concepções prévias dos estudantes em detrimento das científicas (Mortimer, 1996). Enfatizamos, assim, o papel da superação dos obstáculos sob o foco da estratégia de ensino, e sua conexão intrínseca com a metacognição, entendida como a tomada de consciência, pelo estudante, do seu próprio perfil.

## METODOLOGIA

Neste estudo exploratório, partimos da análise das pré-concepções dos estudantes sobre o conceito de tempo. Utilizando a técnica de questionário, constituído de situações semi-abertas, foram levantadas as categorias mapeadas, de modo a realizar uma análise das concepções prévias que os estudantes possuíam e se eram pertinentes às constantes na literatura específica. Como referência, utilizamos os estudos de Martins (2004). O autor traça o perfil epistemológico bachelardiano para o referido conceito, propondo como caracterização para as zonas do perfil: i) Realismo ingênuo: engloba as percepções psicológica, subjetiva e animista; o tempo é heterogêneo, qualitativo e está relacionado à coordenação de movimentos com velocidades diferentes; da perspectiva ontológica, a presença de um contador é premente nesta fase. ii) Empirismo: o tempo é métrico, linear, contínuo e homogêneo; sua relação com o conceito de velocidade reside na constância da mesma para os relógios. iii) Racionalismo Tradicional: o tempo apresenta o *status* de parâmetro matemático abstrato, sendo diferenciado de sua medida; o conceito de velocidade é do mesmo derivado; ontologicamente, neste perfil, o tempo é concebido como absoluto, adquirindo existência em si. iv) Surracionalismo: nesta região, o tempo passa a ser relativo, ou seja, dependente do estado de movimento do referencial; a medida do tempo é subordinada à velocidade relativa e a simultaneidade de dois eventos torna-se, também, relativa; da perspectiva ontológica, compõe, em pé de igualdade e simetria com o espaço, um espaço matemático quadridimensional; inclui, ainda, a questão da flecha do tempo e da irreversibilidade de processos termodinâmicos.

Há uma discrepância patente em se fundir num mesmo perfil o tempo relativístico e o termodinâmico, principalmente do ponto de vista ontológico, uma vez que o primeiro é determinístico e, o segundo, leva em conta a natureza probabilística dos processos microscópicos que definem a irreversibilidade. Desta forma, acreditamos que seria mais adequado preservar a estrutura proposta inicialmente por Bachelard, desdobrando o perfil surracionalismo em racionalismo moderno e contemporâneo (MORTIMER, 1996), para acomodar no primeiro a definição relativística e no segundo a termodinâmica.

As respostas às questões de instrumentos formulados, denominados pré, pós-testes, e a análise de alguns episódios de ensino compõem as fontes de dados para nossa pesquisa. Aplicamos

também, um terceiro instrumento, aqui denominado teste de retenção, constando de algumas questões dos anteriores e de outras, dois meses após findar a intervenção.

Partindo da hipótese de que há um padrão aproximadamente constante nas concepções prévias em relação a cada determinado conceito ou idéia científica, inspiramo-nos na proposta de Martins (2004) e nas categorias de Proverbio e Lai (1989) para identificar uma possível classificação coerente, não tendo a pretensão de que essa seja única. Procuramos categorizar as concepções dos estudantes sobre o conceito de tempo a partir das seguintes definições:

- **TP** (Tempo Psicológico) noção da passagem do tempo dependente da situação e do sujeito. Realidade subjetiva.
- **TC** (Tempo Cronológico) tempo quantificado em unidades que se repetem periodicamente; horas, minutos e segundos medidas pelo relógio (empirismo). Independente de sensações, realidade objetiva.
- **TN** (Tempo Absoluto de Newton): o tempo flui homogênea e uniformemente de maneira independente do referencial e da matéria. A marcha inexorável do tempo.
- **TQ** (Tempo Discreto): noção da passagem do tempo em quadros, pressupondo um instante como indivisível.
- **TD** (Tempo Determinístico): noção de uma ordem pré-determinada e imutável.
- **TI** (Tempo e Probabilidade): incerteza quanto ao futuro.
- **TS** (Tempo e Simultaneidade): relação entre o conceito de tempo e a noção de simultaneidade de eventos.
- **TR** (Tempo Relativo): engloba o conhecimento da dependência da medida do tempo em função do estado de movimento do referencial.

Devido aos objetivos pretendidos, aglutinamos algumas das categorias propostas por Proverbio e Lai (1989) e incluímos também outras, para melhor atender a esta pesquisa e/ou à faixa etária dos informantes pertencentes a nossa amostra. Essa ampliação, baseada em díades de natureza ontológica, objetiva incluir os perfis epistemológicos bachelardianos mapeados por Martins (2004). Uma vez definidas estas categorias, a formulação do pré-teste visou, entre outros objetivos, a identificação das mesmas para os estudantes de uma turma do primeiro ano do Ensino Médio. Para tanto, selecionamos frases de uso corrente que as relacionasse e solicitamos que, após assinalarem aquelas coerentes com sua noção de tempo, os estudantes justificassem sua escolha. Outras situações-problema foram propostas para verificar a coerência das respostas.

A intervenção teve como objetivo principal, abordar os dois postulados da Relatividade Restrita, e suas principais conseqüências. Em uma das aulas, utilizamos a abordagem histórica do conceito de tempo e medida de tempo para relacioná-la com as idéias que os estudantes possuíam sobre os mesmos. A análise interdisciplinar por meio da música “Semana que vem”, a discussão de partes de um vídeo e a leitura de um artigo sobre a evolução da precisão da medida do tempo foram as estratégias utilizadas como estímulos para a discussão com estudantes. Para confrontar as idéias apresentadas com algumas conseqüências previstas pela relatividade, em um outro momento, foram apresentadas evidências experimentais da relatividade do tempo como a experiência de Hafele-Keating<sup>2</sup> e o problema da detecção de *mésons*  $\mu$  na superfície terrestre.

Depois de discutidos e sistematizados os dois postulados da teoria da relatividade restrita, analisamos com os estudantes a dilatação temporal, aplicando-a em situações problema. Ao final da seqüência didática, aplicamos um pós-teste com objetivo de avaliar se houve ou não uma ampliação das zonas do perfil conceitual de tempo desses estudantes, evidenciada na manifestação na noção

<sup>2</sup> Atraso medido em relógios atômicos viajando no interior de aviões supersônicos em relação aos que ficaram na Terra.

relativística de tempo trabalhada. Dois meses depois da intervenção, aplicamos um teste de retenção para perceber, entre outras coisas, se a noção relativística de tempo havia sido incorporada à estrutura cognitiva dos estudantes. Na próxima seção, partimos para a análise das respostas dadas aos questionários e na descrição de episódios de ensino coletados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as categorias utilizadas neste trabalho, organizamos, no Quadro 1, as pré-concepções da amostra contemplada, relacionando as concepções de tempo predominantes nas respostas dos estudantes. Uma vez que as categorias não são mutuamente exclusivas, diversas concepções coexistem para um número significativo de estudantes.

**QUADRO 1:** Concepções dos estudantes levantadas na aplicação dos nossos instrumentos.

	TP	TC	TN	TQ	TD	TI	TS	TR
A1			■				■	▨
A2	■	■					■	
A4	■	■					■	
A5			▨					
A6		■	■				■	
A7	■	■	■					
A8		■					■	▨
A9	■		■				■	
A10		■						
A11		■			■		■	
A12			■					▨
A13			■					▨
A14			■					▨
A16	■	▨					■	
A17		■				■		▨
A18				■	■		■	▨
A19		■					■	▨
A20			■					▨
A21			■			■		▨

**LEGENDA:** O preenchimento sólido (quadro em cinza) representa os resultados obtidos no pré-teste e a hachura diagonal ascendente simboliza os obtidos no pós-teste. Caso o aluno apresente TR no pós-teste e no teste de retenção, a representação escolhida foi o sombreado entrelaçado. A primeira linha contém as categorias conforme listadas na seção anterior, e a primeira coluna, os estudantes participantes, discriminados por A1, A2,... A21.

**FONTE:** Pesquisa de Campo (2005)

Em concordância com a coexistência de diferentes concepções, observamos que no pré-teste, diversos estudantes evidenciaram mais de uma categoria em sua resposta. Por outro lado, seis apresentaram unicamente a categoria **TN** como elucidação. Esta constatação nos parece um indício de que, estabelecendo a adoção da concepção newtoniana de tempo, o indivíduo tende a abandonar a utilização das outras em suas explicações.

A relação entre **TN** e **TR** é particularmente interessante para nossa análise. Enquanto que, para alguns (A5, A7 e A9), o estabelecimento de **TN** constituiu um obstáculo epistemológico para a compreensão de **TR**, uma vez que as duas categorias são ontologicamente diferentes, para outros (A1, A12, A13, A14, A20 e A21), a constatação de **TN**, que é equivalente ao racionalismo clássico e representa um nível de abstração maior, indica justificativas para que estes estudantes tenham apresentado no pós-teste uma evolução (em processo) para a categoria **TR**. Destes, apenas A12 não reteve as noções, conforme pudemos constatar no teste de retenção. Neste mesmo teste, pudemos observar que as noções de **TN** e **TR** não são mutuamente exclusivas para os estudantes. Dos que manifestaram **TR**, apenas um aluno (A1) negou a definição de tempo absoluto de Newton: *A idéia de tempo de Newton é equivocada, pois o tempo pode ser influenciado pela velocidade e, dependendo disso, ele não flui uniformemente.*

Com exceção de A1, os estudantes demonstraram concordar com a definição newtoniana de tempo proposta no teste de retenção. Este resultado confirma os estudos constantes na literatura específica, nos quais o tempo absoluto de Newton é tido como um conceito intuitivo e que, a transição para a noção relativística depende de atividades e discussões mais aprofundadas e duradouras. Entretanto, consideramos que a atividade tenha sido profícua, uma vez que os estudantes não mencionaram noções animistas como **TP** ou empiristas como **TC**, como o haviam feito no pré-teste. Inclusive, para A8, A17 e A19, a evolução de **TC** a **TR** indica que as atividades desenvolvidas podem ter sido mais significativas.

Acreditamos que, iniciar a inserção de tópicos de Física Moderna no primeiro ano do ensino médio, concomitantemente aos primeiros contatos do indivíduo com as abordagens científicas, oportuniza uma redução de rotas em função da minoração dos obstáculos epistemológicos. De modo geral, pensamos que a inserção da discussão sobre os princípios da teoria da relatividade restrita, neste momento, propiciou além de um refinamento quanto à concepção de tempo, uma melhor compreensão dos demais conceitos envolvidos, com exceção dos estudantes cujos dados não nos permite aferir categorias no pós-teste.

Defendemos que isso tenha ocorrido devido à opção metodológica adotada, pois, na implementação da problematização inicial, discutiu-se situações envolvendo o referido contexto. Essas situações oportunizaram diálogos com os estudantes, os quais foram recortados em episódios de ensino, relatados na seqüência, considerados fundamentais para o resultado global obtido.

Subsidiando a discussão posterior sobre a necessidade da crescente precisão das medidas de tempo, no primeiro episódio realizamos uma análise quantitativa, conforme trecho abordado em estudo dirigido descrito na seqüência.

#### Episódio 1 – Tempo Quantitativo e Debate sobre Precisão da Medida de Tempo

Legenda: P(o autor e professor); An (estudantes);

Após a leitura de um trecho que relata a evolução da precisão das medidas de tempo, o professor trabalha quantitativamente a noção de tempo e promove uma discussão sobre a necessidade da precisão de sua medida.

P: *O que é um segundo? O que é uma hora?*

A7: *Um período de tempo relacionado com um dia.*

P: *Certo, quantas horas têm em um dia?*

A3: *24h*

P: *Então, uma hora é a vigésima quarta parte de um dia, que é o tempo que a Terra leva para dar uma volta completa em torno de seu eixo devido ao seu movimento de rotação.*

A7: *Como é que eles souberam que um dia tinha 24 horas?*

P : *E daí, pessoal, como eles souberam?* (Silêncio) *Na verdade, eles não “souberam” A7, isso é uma convenção. Eles poderiam ter dividido o dia em 30 partes iguais e a hora seria menor que a nossa, por exemplo. Hoje, em dia, porém, a definição de segundo é diferente. Um segundo é definido como o tempo necessário para que os elétrons do átomo de césio efetuem 9.192.631.770 oscilações completas. Um relógio atômico chega a ter a impressionante precisão de menos de um nanossegundo por dia.*

A18: *Para que tão preciso?*

P: *Boa pergunta A18, para medir coisas do nosso dia-a-dia estes relógios não têm utilidade nenhuma. Um relógio mecânico que atrase um décimo de segundo por dia será praticamente tão útil para você como um relógio atômico. Você não chegará atrasado na escola se tiver um relógio mecânico, certo? Porém, existem alguns fenômenos que ocorrem muito mais rapidamente do que podemos imaginar. Uma partícula criada em um laboratório, por exemplo, chega a viver apenas alguns microssegundos. O GPS, que vimos no vídeo da aula passada, precisa ter relógios de altíssima precisão para localizar um ponto, latitude, longitude e altitude, na superfície da Terra. Uma diferença na casa de microssegundos pode originar um erro de centenas de metros.*

Neste episódio, a convenção das medidas realizadas em Física foi abordada com os estudantes. A partir desta atividade, constatamos que alguns demonstraram acreditar que as unidades como metro, quilograma e segundo foram descobertas e não convencionadas. Com base na manifestação de A18, observamos a evidência de que o mesmo não compreende a necessidade de tanta precisão, uma vez que nos fenômenos vivenciados por ele cotidianamente esses atrasos são imperceptíveis. Neste ponto, a réplica do professor oportunizou uma melhor compreensão da tecnologia atual, pela abordagem do exemplo do GPS, ilustrando a necessidade de precisão para a medida de tempo.

No segundo episódio, o professor utiliza a metodologia dos momentos pedagógicos (ANGOTTI e DELIZOICOV, 1991). Até então, as atividades anteriores familiarizaram os estudantes com as tecnologias de medida de tempo e o funcionamento de relógios, particularmente o atômico. Nesta perspectiva, fatos experimentais são expostos de modo a gerar questionamentos.

## Episódio 2 – Problematização da Relatividade do Tempo

Legenda: P(o autor e professor); An (estudantes)

Os problemas do atraso medido em relógios atômicos e da detecção de múons na superfície terrestre são apresentados e os estudantes são convidados a dar explicações para os mesmos.

P: *O relógio que deu uma volta na Terra dentro de um avião supersônico, quando voltou, estava 60 nanossegundos atrasado em relação ao que havia ficado na superfície. Por que ocorreu este atraso?*

A14: *Foi porque o avião estava indo muito rápido. Pode ser que o relógio não funcione direito por causa da resistência do ar.*

[...]

P: *Os mésons  $\mu$  (múons) são partículas têm uma vida muito breve. Experiências feitas no laboratório europeu de física de partículas, o CERN em Genebra na Suíça, constataram que estas partículas, quando em repouso em relação à Terra, vivem apenas cerca de 2 microssegundos. Porém, estas mesmas partículas são criadas quando raios cósmicos provenientes do espaço se chocam com as partículas da atmosfera. Como a velocidade dos raios cósmicos é aproximadamente a velocidade da luz, podemos fazer uma conta para saber a distância que ele percorreria durante sua vida? (Os estudantes fazem esta conta e chegaram ao valor de 600 m) A camada da atmosfera tem cerca de 10 km de altitude. Vocês acham que poderíamos detectar os mésons atingindo a superfície da Terra?*

A20: *Sim, mas chegariam mortos.*

P: *Mas quando eles morrem, eles se desintegram e se transformam em outras partículas. Vocês sabiam que conseguimos detectar vários múons chegando aqui na superfície da Terra? Como vocês acham isso ser possível?*

A21: *Eles podem se deslocar com uma velocidade maior que a da luz.*

P: *Seria realmente uma possibilidade A21, mas a velocidade dos raios cósmicos é medida e é mesmo igual à velocidade da luz. Como eles conseguem chegar até aqui?*

Já neste segundo episódio, o professor apresenta alguns resultados empíricos, como o atraso em relógios atômicos e a detecção dos *múons*, alheios à experiência cotidiana de seus estudantes, implementando o primeiro momento pedagógico. A14 buscou argumentos apriorísticos para justificar o atraso medido em relógios atômicos, enquanto que, A21 recorre à noção de tempo absoluto, para justificar o aumento da velocidade do *múon* e sua detecção na superfície terrestre. Apesar de compreenderem as situações, os estudantes não conseguem explicá-las utilizando seus próprios conceitos intuitivos.

A sistematização do conhecimento, correspondente ao segundo momento pedagógico, é priorizada para os encontros seguintes. O professor procurou não responder as situações contra-intuitivas apresentadas, de modo que os estudantes refletissem sobre as mesmas. No terceiro e último episódio analisado, relatamos a execução do terceiro momento pedagógico por meio da obtenção da dilatação temporal pela imposição do segundo postulado.

Episódio 3 – Consequência dos Postulados: Dilatação Temporal

Legenda: P (o autor e professor); Na (estudantes)

Ao propor uma situação, o professor discute uma das principais consequências dos postulados da relatividade: a dilatação temporal.

P: *Uma fonte luminosa localizada no chão do vagão de um trem que se desloca em MRU, emite um raio de luz. Este raio é refletido por um espelho localizado no teto do trem e retorna ao ponto de onde partiu.* (Fazendo um desenho no quadro, o professor representa a trajetória descrita pelo raio quando observado por uma pessoa no interior do trem – observador A). *O observador A vê o raio se deslocar para cima e para baixo numa linha reta vertical. Como será a trajetória deste raio quando observado por outra pessoa (observador B) que está fora do trem e em repouso em relação ao solo.*

A1: *Será um triângulo.*

P: *Todos concordam com A1?*

A6: *Sim, eu concordo porque como o trem está em movimento, a luz se desloca tanto para frente, como para cima.*

P: *Ok, realmente, para B, este raio descreverá uma trajetória inclinada. Assim, vocês concordam que para B, o raio percorrerá uma distância maior?*

A: *Sim.*

P: *Então está claro que a trajetória descrita pelo raio será diferente para cada observador e que o mesmo percorrerá uma distância maior para B?[...] Para A, quanto tempo o raio leva para subir e descer?*

Os estudantes obtiveram:  $\Delta t_A = \frac{2L}{c}$ , sendo  $L$  a distância do chão ao teto do trem.

P: *E para B, quanto será este tempo? Qual é a velocidade que o raio de luz se desloca em relação a B?*

A1: *A mesma de sempre,  $3 \times 10^8$  m/s.*

P: *Se a velocidade é a mesma para os dois, e para B ela percorre uma maior distância, o que podemos afirmar em relação ao tempo medido pelos observadores para que a luz suba e desça?*

A6: *Para B o tempo deve ser maior.*

P: (Escreve no quadro: “A velocidade da luz é a mesma para os dois observadores, porém, a distância percorrida pela luz é maior para B, logo a luz levará mais tempo para efetuar este deslocamento quando observado por B do que por A”). *Isto significa que o tempo é relativo, ou seja, depende do referencial! O tempo medido por B é maior do que o medido por A.*

A12: *Isso é muito estranho...*

A18: *Mas esta diferença deve ser muito pequena.*

P: *O que vocês acham, esta diferença de tempo medida pelos observadores A e B será grande ou pequena?*

A6: *Eu acho que também depende um pouco da velocidade do trem.*

P: *Vocês concordam com a observação de A6? (Muitos alunos disseram que sim). Realmente, se o trem se deslocasse com uma velocidade baixa, a diferença entre a distância percorrida pelo raio quando observado por B e por A seria muito pequena, assim a diferença de tempo medido, seria também muito pequena. Assim, quanto maior a velocidade do trem, maior será a diferença entre os tempos medidos pelos dois observadores. Precisamos agora montar uma equação que relacione os intervalos de tempo medidos pelos dois com a velocidade do trem.*

A dedução matemática levou à expressão da dilatação temporal.

P: *O tempo para B é maior ou menor que o tempo para A?*

A8: *O tempo para B é maior.*

P: *Em que situação os tempos seriam iguais?*

A6: *Se o trem estivesse parado. Se  $v$  fosse igual a zero.*

P: *Exatamente A6!*

[...]

P: *O valor de gama é sempre menor ou maior que 1?*

A6: *Acho que é maior, pois demora mais tempo para B do que para A.*

P: *Quando é que gama vale 1?*

A1: *Se  $v = 0$ .*

P: *Exatamente A1, isso significa que se o trem estiver em repouso em relação ao solo, os tempos medidos por A e B serão iguais.*

A8: *Sim, porque daí a trajetória vista por B não vai mais ser um triângulo.*

P: *OK, o que pode fazer com que o valor de gama aumente?*

A6: *Basta que a velocidade do trem aumente.*

P: *Então vamos calcular o valor de gama para algumas velocidades. Qual a velocidade aproximada de um trem?*

A14: *Uns 200km/h.*

P: *E qual é o valor de gama para esta velocidade? Podem usar calculadora se desejarem.*

A7: *É uma conta muito difícil professor! Os números não cabem na minha calculadora.*

P: *Por que?*

A7: *Por que quando eu divido  $v$  por  $c$  dá um valor muito pequeno, quase zero.*

P: *Está certíssimo A7. Percebam que para velocidades cotidianas como a velocidade de um carro, de uma pessoa ou até mesmo do som, o valor de gama é muito próximo de 1. Portanto, para estes casos, podemos dizer que os observadores irão medir praticamente o mesmo tempo.*

[...] *Porém, para velocidades próximas à velocidade da luz, o gama passa a ser significativo. (Mais uma vez escreve na lousa: se  $v = 0,5 c$ , temos que  $\gamma = 1,155$ ). O que isso significa?*

A6: *Que o tempo que passa para B é 1,155 vezes maior que o tempo que passa para o A.*

P: *Então, 1 segundo para o A, corresponde a quanto tempo para o B?*

A: *1,155 s.*

P: *E um ano para o A?*

A: *Dá 1,155 anos para o B*

A opção pela situação selecionada para deduzir a dilatação temporal se deve pela relativa simplicidade matemática, uma vez que tem como principal princípio o Teorema de Pitágoras. Trata-

se de uma situação didaticamente criada para que os estudantes possam compreender melhor o fenômeno, em concordância com a sugestão de Daly e Horton (1994). Exemplos numéricos favorecem a manipulação das expressões matemáticas e, principalmente, a análise das suas conseqüências físicas: como o fator  $\gamma$  é maior que 1, o tempo passa mais lentamente para o observador B.

As questões quatro e cinco do pós-teste visaram perceber se os estudantes assimilaram a relação de dependência entre o tempo e a velocidade de diferentes referenciais evidenciando assim o tempo como grandeza relativa. Nesse sentido, uma questão retoma a situação do tempo de vida do *méson* quando em repouso, ou em movimento. As respostas indicam que parte da amostra não assimilou os pressupostos da dilatação temporal, como, por exemplo, na afirmação de A14 *Acho que será menor. Pois se em repouso ele já é destruído tão rapidamente, imagine nessa velocidade, a qual explicita uma confusão entre duração e velocidade. Alguns permaneceram com o conceito de newtoniano de tempo absoluto, como podemos notar na resposta de A19: Acho que sim, acho que o tempo de vida dele é independente da sua velocidade, não importa se ele está parado ou com uma velocidade altíssima, o seu tempo de vida será sempre de dois microssegundos.* Entretanto, somente 50% mencionaram a dependência do tempo com a velocidade da partícula, como evidenciado nas respostas transcritas.

*A20: Não, porque quanto mais se aproxima da velocidade da luz, o tempo passa mais devagar.*

*A21: Acho que será um pouco mais de dois microssegundos, devido a sua grande velocidade.*

*A1: Não, pois o tempo é relativo. Quanto maior a velocidade, maior o “tempo de vida” desta partícula em relação a velocidades baixas.*

*A7: Não, pois quanto mais perto da velocidade da luz o tempo aumenta ou fica lerdo.*

A última questão, de natureza metacognitiva, permitiu aos estudantes externar se a intervenção provocou alguma alteração sobre suas concepções prévias em relação aos conceitos abordados. Dos 22 estudantes participantes, apenas três expressaram que não notaram nenhuma alteração em suas concepções. Destacamos alguns desses depoimentos.

*A1: Com certeza, antes não fazia a mínima idéia que o tempo não é uma coisa fixa e sim relativa. Antes parecia uma loucura pensar em uma viagem no tempo, as atividades “abriram” minha mente.*

*A18: Muito. Pois, antes eu pensava que o tempo não era relativo, principalmente. Mas outras coisas como repouso e MRU. Agora tenho outras concepções de tempo. Nunca verei o tempo com os mesmos olhos.*

*A12: Sim. Saber que o tempo é relativo, pois o tempo num relógio dentro de um avião supersônico passa mais devagar que o tempo num relógio na Terra.*

*A19: Sim. Havia coisas que eu nunca tinha parado para pensar antes como o fato de que se eu corresse na velocidade da luz e olhasse para trás, eu não conseguiria ver nada, achei tudo muito interessante. Também pude constatar que não importa a que velocidade você está, se você jogar algo para cima ele cairá na sua mão novamente. E essas e outras coisas obviamente mudaram um pouco a minha idéia de tempo porque, principalmente, me fizeram perceber que eu não entendo e nem realmente sei o que é o tempo.*

*A8: Antes eu tinha um conceito de tempo muito diferente. Eu não tinha muita noção, mas com as atividades o meu conceito de tempo chegou mais perto do correto, pois eu aprendi que o tempo pode se atrasar em velocidades muito altas e isso foi o que mais mudou o meu conceito.*

A1, A18 e A12 expõem claramente que suas concepções de tempo foram ampliadas em virtude do reconhecimento da relatividade do mesmo, ainda que não associem isto ao segundo postulado. A12 se refere a um exemplo discutido em sala para justificar esta alteração e, no mesmo

sentido. A8 explicita seu conflito, permeado por sua concepção de ciência, centrada na crença da existência de um conceito correto de tempo e julga que as aulas o fizeram se aproximar do mesmo, A19 expõe que as atividades fizeram com que ele realizasse que não sabe o que realmente é o tempo. A19 relata, também, que achou interessante ter que pensar em situações hipotéticas como os experimentos pensados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas pesquisas em ensino de Física têm apontado para a necessidade da inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio. Dentre os conteúdos a serem abordados, a Teoria da Relatividade aparece como forte candidata a fazer parte do mesmo. Algumas questões ainda precisam ser analisadas antes de iniciar este processo, como: Quais seriam as justificativas para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita? Quais metodologias adotar para se obter uma aprendizagem significativa? Em quais momentos inserir tópicos da relatividade?

Resnick (*apud* CAVALCANTE, 1999) propõe que a inserção de Física Moderna e Contemporânea deva estar fundamentada em três pilares: i) *overview* – que consiste na redução da quantidade de conteúdos clássicos abordados, assim como de detalhamentos matemáticos demasiados e da repetição exaustiva de exercícios-padrão; ii) *spread* – subentende a pulverização de temas modernos, em paralelo à concepção clássica de determinadas grandezas. iii) *broaden* – pautado no reconhecimento da importância da Ciência no mundo e ampliação da relevância dada aos aspectos históricos da evolução do pensamento científico.

Fundamentados nessa proposta, e como uma forma de contribuir para a resposta dos questionamentos supracitados, centramos nossa pesquisa na elaboração e teste de uma seqüência didática, abordando alguns conceitos da Teoria da Relatividade Restrita, especificamente o tempo e o espaço, no primeiro ano do Ensino Médio. A inserção da relatividade restrita no Ensino Médio não pode ser justificada diretamente através de sua associação com os principais avanços tecnológicos ocorridos no século XX. Os efeitos da dilatação temporal e da contração das distâncias, por exemplo, são desprezíveis na realidade vivenciada pelos alunos. Com base neste argumento, alguns autores não recomendam com sua inserção. Entretanto, discordamos desta postura, por acreditarmos que a Física Moderna e Contemporânea aborda problemas, justamente transcendendo nossas experiências cotidianas, como aponta Moreira (2000).

Em nossa pesquisa, pudemos constatar que o ensino da relatividade restrita, enfatizando a dilatação temporal como consequência de seus postulados, contribui para uma ampliação do conceito de tempo, em concordância com a definição de perfil conceitual de Mortimer (1996) e suas implicações didáticas. Dessa forma, justamente essa ampliação figuraria como uma das possíveis justificativas para esta inserção, bem como a expansão da sua capacidade de abstração.

Em relação à metodologia adotada, propomos uma discussão inicial sobre as noções de tempo dos estudantes, de acordo com a premissa de partir das concepções prévias dos mesmos sobre o assunto a ser trabalhado. Acreditamos que esta análise seja fundamental para que possamos entender os obstáculos epistemológicos e ontológicos para a compreensão de um dado conceito. Mesmo considerando as características do estudo, acreditamos que a atividade obteve resultados significativos. Na questão de natureza metacognitiva do pós-teste, A1, A18 e A12 expõem claramente que suas concepções de tempo foram ampliadas em virtude do reconhecimento da relatividade do mesmo, ainda que não associem isto ao segundo postuldo. A12 se refere a um exemplo discutido em sala para justificar esta alteração e, no mesmo sentido. A8 explicita seu conflito, permeado por sua concepção de ciência, centrada na crença da existência de um conceito

correto de tempo e julga que as aulas o fizeram se aproximar do mesmo; A10 identifica que o mesmo não tem uma definição precisa e A19 expõe que as atividades fizeram com que ele realizasse que não sabe o que realmente é o tempo. A19 relata também que achou interessante ter que pensar em situações hipotéticas como os experimentos pensados. Certamente, as aulas de Física deveriam contribuir mais para o desenvolvimento deste tipo de habilidade nos alunos.

Contrapondo a visão de que a Física Moderna e Contemporânea deva ser ensinada somente ao final do terceiro ano do Ensino Médio, como discussão dos limites da Física Clássica, aplicamos nossa seqüência em uma turma de primeiro ano, num estudo exploratório. Os resultados obtidos demonstraram que, se devidamente planejada, a inserção de tópicos da teoria da relatividade restrita pode ser feita desde o início do Ensino Médio, invocando a noção de *spread* de Resnick, mencionada anteriormente, e que os estudantes podem assimilar pressupostos básicos da teoria da Relatividade, abordando sua plausibilidade, dispensando de um tratamento matemático exaustivo.

## REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, M. A. O Ensino de uma Nova Física e o Exercício da Cidadania, *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. **21**, n. 4, p. 550-551, 1999.
- DALY, L. N. e HORTON, G. K. The Universality of Time Dilatation and Space Contraction. *The Physics Teacher* v. **32**, n. 5, p. 306-308, 1994.
- DELIZOICOV, D., ANGOTTI, J. A. *Física*. São Paulo: Cortez, 1991.
- GASPAR, A. *Física*. Volume 1. São Paulo, Ática, 2000.
- GONÇALVES, F., A. e TOSCANO, C. *Física para o Ensino Médio - Série Parâmetros*. Volume único. São Paulo: Scipione, 2002.
- MARTINS, A. F. P. *Concepções dos estudantes acerca do conceito de tempo: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard*. Tese de doutorado - Faculdade de Educação – USP, 2004.
- MARTINS, A. F. P. e ZANETIC, J. O Tempo na mecânica: de coadjuvante a protagonista. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* v. **19**, n. 2, p.149-175, 2001.
- MÁXIMO, R. L. A. e ALVARENGA, A. B. *Curso de Física*. Vol. 1, São Paulo: Scipione, 2000.
- MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectivas e Perspectivas, *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. **22**, n.1, p. 94-99, 2000.
- MORTIMER, E. F., *Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: para onde vamos?*, *Investigações em Ensino de Ciências* (1) IFURGS, Porto Alegre, 1996.
- URL: [www.if.ufrgs.br/public/ensino/N1/2artigo.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/N1/2artigo.htm)
- OSTERMANN, F. *Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física*. Tese de Doutorado, Porto Alegre, 1999.
- RAMALHO, F. J., FERRARO, N. G. e SOARES, P. A. T., *Os Fundamentos da Física*. São Paulo: Moderna, 1993.
- RODRIGUES, C. D. O. *Inserção da Teoria da Relatividade no Ensino Médio: Uma nova proposta*. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2001.

- SANTOS, V. H. Relatividade e Realidade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 3, n. 2, p. 83-83, 1986.
- TERRAZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola do 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.
- VILLANI A. e PACCA, J. L. A. Spontaneous reasoning of graduate students. *International Journal of Science Education*, v. 12, n. 5, p. 589-600, 1990.