

# Tempo relativístico no início do Ensino Médio

(Relativistic time in the beginning of High School)

Ricardo Avelar Sotomaior Karam<sup>1</sup>, Sonia Maria Silva Correa de Souza Cruz<sup>1</sup> e Débora Coimbra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil

Recebido em 9/2/2006; Aceito em 9/5/2006

Este artigo relata uma intervenção de ensino realizada em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio com o objetivo de abordar tópicos da teoria da relatividade restrita, imediatamente após o estudo da cinemática usual. Partindo das pré-concepções dos estudantes, analisamos a ampliação do perfil conceitual de tempo dos mesmos através do reconhecimento de sua relação com a dependência com o referencial. As atividades realizadas em sala são descritas e a análise de episódios de ensino e das respostas dos estudantes aos pré e pós-testes apontam a proficuidade da metodologia escolhida em função do sucesso da aprendizagem constatada.

**Palavras-chave:** tempo, perfil conceitual, física moderna no Ensino Médio.

In this work we report a teaching intervention program with junior high-school students focusing on topics of the special theory of relativity is reported just after the discussion of usual kinematics. Starting from the analysis of common misconceptions, the enhancement of the conceptual profile of time was demonstrated through their identification of its relation with the reference frame. We describe the activities which are worked out. The analysis of classroom episodes and performance tests pointed out that the adopted methodology was profitable.

**Keywords:** time, conceptual profile, modern physics in high school.

## 1. Introdução

Immanuel Kant, em seu livro *Crítica à Razão Pura*, classificou os juízos em analíticos e sintéticos. Um juízo analítico permite, e um sintético não, ser demonstrado pela lógica. Os juízos sintéticos subdividem-se em empíricos (cuja veracidade pode ser constatada pela experiência) e em apriorísticos (entendido pelo autor como evidente por si mesmo). Segundo Kant, o tempo não é um conceito, isto é, uma classe de objetos múltiplos, mas um esquema único, constituindo um juízo a priori [1].

Desde a mais remota Antigüidade, o conceito de tempo vem instigando a inteligência humana. O *chronos* grego e o *tempus* latino sempre foram objeto de considerações, desde os filósofos pitagóricos, para quem o tempo era definido como a parte mensurável do movimento observável na esfera celeste, pois o movimento aparente dos corpos no céu era usado para avaliá-lo. A forma mais elementar do tempo é a organização cronológica, elaborada segundo uma causalidade espacializada. Em outras palavras, envolve um agrupamento de sucessões de durações, definidas como intervalos entre acontecimentos instantâneos sucessivos, cujo fluxo

contínuo é uniforme. A medida de tempo corresponde à iteração da unidade de duração, sintetizando operações de deslocamento e as de partição [2]. A autêntica reificação do tempo decorre de uma alteração essencial na forma de observação da passagem de eventos. Segundo Paul Davies, matematicamente, o tempo é um espaço unidimensional, geralmente considerado contínuo, embora possa ser discretizado em cronons, como quadros de um filme [3]. Da perspectiva neurológica, a experiência de duração do tempo é um constructo [4].

O tempo racional é reversível e homogêneo. A distinção entre espaço e tempo é a base do conceito de causalidade. Eventos no mundo formam uma seqüência unidirecional, revelando uma assimetria enquanto propriedade dos estados existentes de mundo, e não uma propriedade da grandeza tempo em si. Paradoxalmente, a segunda lei da termodinâmica, responsável por essa assimetria, especifica que o conhecimento de sistemas complexos é perpetuamente aproximativo e a incerteza, determinada por essa aproximação, é sempre crescente com o tempo. Em oposição a essa perspectiva, a física clássica subentende a duração reduzida a uma sucessão de estados instantâneos ligados por uma lei de evolução determinista.

<sup>2</sup>E-mail: deboracoimbra@terra.com.br.

No contexto relativístico, representa uma coordenação dos movimentos e das suas velocidades. Não que incida uma inversão na ordem dos eventos em função do referencial, mas sim a não-simultaneidade à distância unicamente e, por conseguinte, sobre o fato de que as durações se dilatam a grandes velocidades [3]. A relatividade geral combina as três dimensões do espaço à temporal para formar o espaço-tempo, deformado e distorcido pela distribuição de matéria e energia no universo. Prigogine e Stengers [5] apontam que Lagrange e d'Alembert associaram duração e espaço para formar um conjunto quadridimensional, já no século XVIII, anteriormente a Einstein. Em síntese, tempo e espaço não existem independentemente do universo ou um do outro.

Efetivamente, ambas as posturas constituem uma classe restrita de sistemas dinâmicos simples. Considerando-se a diversidade qualitativa da natureza, o tempo irreversível das evoluções para o equilíbrio, o tempo periódico das estruturas cuja pulsão se sustenta do mundo que as atravessa, o tempo ramificado das evoluções por instabilidade e amplificação de flutuações, o tempo microscópico, associado à indeterminação, articulam-se numa superposição múltipla, uma pluralidade que, ora evidencia uma invariância, ora uma expansão ou degradação. O mundo das trajetórias reversíveis permanece no cerne da Física e constitui uma referência conceitual necessária para definir e descrever o domínio da irreversibilidade introduzida pela instabilidade, enquanto uma ruptura da simetria das equações em relação ao tempo [5].

Estudos sobre o desenvolvimento deste conceito ao longo da história da ciência evidenciam uma crescente importância dada ao mesmo na evolução das teorias físicas, especialmente a partir da formulação da lei da queda dos corpos por Galileu [6]. Entretanto, quando nos voltamos para a abordagem deste conceito no ensino de Física em nível médio, nos deparamos com um descompasso entre sua evolução histórica, através de seus diversos enfoques, e o tratamento dado ao mesmo nos livros didáticos<sup>1</sup>. O tempo aparece no início do ensino da mecânica clássica, desempenhando um papel fundamental para o estudo da Cinemática. O movimento translacional 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, com pouca ou nenhuma reflexão sobre seus aspectos, a qual geralmente se resume ao tratamento das unidades de medida, ele passa a ser utilizado como parâmetro para as equações do movimento [9].

<sup>1</sup>Diversos autores apontam que os livros didáticos, distribuídos pelas editoras, 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 [7, 8].

<sup>2</sup>Segundo Carvalho, episódio de ensino é um recorte de uma aula, naquele momento em que fica evidente a situação que queremos investigar. Pode ser a aprendizagem de um conceito, a situação dos alunos levantando hipóteses num problema aberto, as falas dos alunos após uma pergunta desestruturadora, etc. A característica fundamental é que seja um ciclo completo, no processo de interação entre sujeitos, mediado pelo objeto do conhecimento e/ou pelo professor [15].

Para a elaboração da teoria da relatividade, Einstein precisou redefinir alguns pressupostos que eram tidos como intuitivos em relação à noção de tempo, dentre eles, o caráter absoluto da simultaneidade. A partir de dois postulados e de uma definição da última, demonstrou que *dois eventos que são simultâneos, quando observados a partir de um sistema de coordenadas particular, não podem mais ser assim considerados quando observados a partir de um sistema que está em movimento em relação àquele sistema* [10]. O cerne da proposição de Einstein é uma teoria física do espaço e do tempo, livre dos *a priori* metafísicos adotados por Galileu e Newton. O intervalo de tempo entre dois eventos não é preservado se um observador se desloca com velocidades comparáveis à da luz, devido à dilatação temporal; será invariante o intervalo entre dois eventos, na geometria do espaço-tempo de Minkowski [11].

Anuindo à tendência de inserção de temas de física moderna e contemporânea no Ensino Médio, recomendada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais [12], organizamos, aplicamos e analisamos uma seqüência didática abordando tópicos da Relatividade Restrita, especialmente a noção de tempo relativístico, com alunos do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública da cidade de Florianópolis, SC.

Ao refletirmos sobre os objetivos dessa discussão, nos identificamos com a noção de perfil conceitual, defendida por Mortimer [13]. Segundo o autor, o ensino de ciências não deve preconizar a substituição das idéias prévias dos estudantes pelas noções científicas, mas sim, deve promover uma multiplicidade de interpretações da realidade e a aplicação de cada noção nos contextos convenientes, oportunizando uma ampliação de um perfil conceitual para cada tema em estudo. Dessa forma, nosso enfoque foi o de promover uma ampliação do perfil conceitual de tempo dos estudantes, através da construção de uma nova zona associada à compreensão da relatividade do tempo, e também pela demarcação e ampliação das zonas existentes [14].

Nossa seqüência foi concebida em dez encontros, cada um de duas horas/aula. Os principais pontos abordados foram: princípio da relatividade, noções de tempo, magnitude da velocidade da luz, experiência de Michelson-Morley, os dois postulados da Relatividade Restrita e suas conseqüências (dilatação temporal e contração do comprimento).

No presente artigo, os aspectos relativos à discussão sobre o conceito de tempo e à construção da noção relativística são enfocados. Para constatar a ampliação do perfil conceitual de tempo pretendida, utilizamos como dados, as respostas dos estudantes aos nossos instru-

mentos (pré e pós-testes), cuja metodologia de tratamento é abordada na próxima seção. Na seção 3, os episódios de ensino recortados<sup>2</sup> de gravações em vídeo das aulas são descritos e discutidos. Ainda, resultados específicos para uma amostra de alunos considerada são analisados na seção subsequente. Finalizando, nossas conclusões são apresentadas na última seção.

## 2. Aspectos metodológicos

Num primeiro momento, identificamos as pré-concepções dos estudantes acerca do conceito de tempo. Elaboramos um instrumento (Anexo 1) contendo seis questões nas quais, além da preocupação em se abordar situações problemáticas semi-abertas, algumas questões foram concebidas para averiguar a coerência interna entre as respostas dadas. Desta forma, extraímos as principais pré-concepções dos estudantes, as concepções prévias que os mesmos apresentam sobre o assunto em estudo.

Estas pré-concepções foram organizadas em categorias, adaptadas dos trabalhos constantes na literatura específica [14]. Martins e Pacca [16] traçam o perfil epistemológico bachelandiano para o conceito de tempo, propondo para as zonas do perfil: i) Realismo Ingênuo: engloba as percepções psicológica, subjetiva e animista; o tempo é heterogêneo, qualitativo e está associado ao esforço físico ou a uma distância percorrida (mais esforço ou mais distância corresponde a mais tempo); da perspectiva ontológica, a presença de um indivíduo contador é premente. 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 adquire 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 é caracterizado a partir de duas perspectivas [16]: primeiramente, em concordância com as teorias da relatividade, 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, o espaço-tempo, um espaço matemático quadridimensional, eleva o tempo à categoria de dimensão, em pé de igualdade com o espaço. Em segundo, devido à interpretação probabilística da flecha do tempo, dada pela mecânica estatística, a irreversibilidade de processos termodinâmicos passa a ser o evento mais provável e não mais o único possível.

Apesar de reunir aspectos do tempo ontológica-

mente diferentes (o caráter determinístico da relatividade e o probabilístico da termodinâmica) o objetivo principal desta categorização, segundo Martins e Pacca, foi o de distinguir as noções modernas da racionalista clássica (tempo absoluto). A zona surracionalista não foi caracterizada com mais profundidade em seu trabalho, em função de seus objetivos [16].

Especificamente para a nossa análise, optamos por ampliar essa classificação ao percebermos, ao longo do processo, uma possibilidade maior de categorias para a concepção de tempo, antes e depois da intervenção, e por a considerarmos mais adequadas para as intenções de nossa pesquisa de acordo com a proposta de perfil conceitual de Mortimer [13]. Não tendo a pretensão de que essa classificação seja única ou hierárquica, relacionamos as seguintes categorias:

- 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, associada à concepção de destino.
- TI - Tempo e probabilidade: incerteza, particularmente quanto ao futuro.
- TR - Tempo relativístico: engloba o conhecimento da dependência da medida do tempo em função do estado de movimento do referencial.

De acordo com a proposta de perfil conceitual, trabalhamos<sup>3</sup> de modo a demarcar e ampliar as zonas do perfil existente; categorias como TQ, TD e TI, serviram para a análise de pares antitéticos como determinismo-probabilismo e contínuo-discreto.

Os dados coletados pela aplicação do pré-teste são categorizados na análise dos resultados do presente artigo. Na segunda questão do referido pré-teste (ver Anexo 1), um pequeno texto é apresentado para ilustrar a concepção operatória de tempo enquanto relação

<sup>3</sup>Optamos também por não abordar o tempo termodinâmico nem nas categorias de análise, nem no planejamento das aulas. Tendo em vista a proposição de *pulverização* dos conceitos modernos concomitantemente aos clássicos, acreditamos que seria mais apropriado associá-lo ao conceito de entropia, o que habitualmente aborda-se no segundo ano do Ensino Médio.

de sucessão e duração através de operações qualitativas em concordância com a proposta de Piaget [2] e a terceira apresenta um outro texto, o qual associa a visão operacional métrica à quantificação do tempo e sua medição através de relógios, além de identificar a noção de simultaneidade.

Em relação às atividades desenvolvidas em sala de aula [14], foram destinadas quatro horas/aula para uma abordagem histórico-filosófica do conceito de tempo e das diversas maneiras de medi-lo. Nestas, vários trechos do vídeo *Tempo: o Eterno Movimento* do Discovery Channel foram exibidos e debatidos a fim de abordar a evolução em precisão dos relógios e a preocupação com a marcação da passagem do tempo em nossa sociedade. Com o objetivo de fazer aflorar as idéias dos estudantes, a discussão de duas músicas<sup>4</sup> também foi utilizada como recurso didático. Nas duas aulas seguintes, um breve histórico da marcação do tempo foi exposto. Trechos do vídeo foram exibidos, mostrando o surgimento da necessidade de uma marcação cada vez mais precisa do tempo. A explicação dos princípios de funcionamento dos principais relógios foi abordada pelo professor, desde os relógios de sol primitivos aos modernos relógios atômicos, cuja importância para as medidas efetuadas pelo sistema de posicionamento global (GPS) foi salientada. Com o objetivo de instaurar um conflito cognitivo, descrevemos a experiência de Hafele-Keating<sup>5</sup>. Os alunos foram convidados a formularem explicações para seu resultado. Em um outro momento e com o mesmo objetivo, o problema da detecção de múons na superfície da Terra foi exposto.

Após a sistematização dos postulados da Relatividade Restrita, apresentamos uma experiência de pensamento<sup>6</sup> para discutir a incompatibilidade entre o segundo postulado e a concepção newtoniana de tempo absoluto. Segundo Dalý e Horton [17], essa experiência é adequada para uma abordagem com alunos do Ensino Médio, pois permite uma análise qualitativa da dilatação temporal, cuja expressão foi demonstrada via aplicação do teorema de Pitágoras. Abordamos a situação do paradoxo dos gêmeos, calculando o fator gama para diversas velocidades e interpretando seu significado. O atraso na experiência de Hafele-Keating e a detecção dos múons na superfície terrestre foram retomados e reinterpretados, como evidências experimentais da dilatação do tempo.

<sup>4</sup>*Melhor pra mim* (Leoni) foi escolhida por abordar a noção de tempo psicológico e a análise da música *Semana que vem* (Pitty) possibilitou discussões sobre a métrica do tempo, suas unidades de medida, sobre a diade determinismo-probabilismo, os conceitos de passado, presente e futuro, entre outros.

<sup>5</sup>Experiência realizada por Joseph Hafele e Richard Keating, em 1971. Relógios atômicos de cézio, inicialmente síncronos em relação a um localizado no observatório naval de Washington, foram colocados no interior de aviões comerciais para viajar ao redor da Terra. Ao retornarem, foram comparados e registraram um atraso em relação ao último, muito próximo ao previsto pela teoria da relatividade.

<sup>6</sup>Trata-se da experiência de pensamento do relógio de luz de Feynman, enunciada da seguinte forma: No interior de um trem, um raio de luz parte de uma lanterna localizada no chão, atinge um espelho imediatamente acima dela e retorna ao chão. Para o observador dentro do trem, o raio descreve uma trajetória vertical. Entretanto, essa trajetória é inclinada para um observador fora do trem [14].

### 3. Episódios de Ensino: Resultado vivenciado

Admitindo a sala de aula como um espaço para enculturação [13], o professor buscou oportunizar aos estudantes uma reflexão sobre suas próprias idéias. No primeiro episódio transcrito, a diferenciação entre o conceito de tempo e sua medida é abordada, visando à superação desse obstáculo epistemológico.

Episódio 1 - Tempo e medida de tempo

Legenda: P - o autor e professor

An - alunos

P: *O vídeo começa mostrando o mundo físico e diz que não existe tempo no mundo físico, o que vocês acham?*

A1: *Eu concordo.*

A9: *Eu acho que o tempo existe, só não está sendo medido.*

P: *Aliás, ele termina falando que o relógio é usado para medir o tempo, mas o tempo existe sem o relógio. Vocês concordam que o tempo existe mesmo sem o relógio?*

Muitos demonstram concordar. Confusão de vozes...

A8: *Claro...*

P: *Todos concordam? Por que? Como é que a gente poderia medir o tempo sem um relógio?*

A8: *Pela idade de uma pessoa.*

A14: *Dia e noite né...*

A1: *Pôr do sol*

A15: *Lua né...*

P: *Então parece que para medir tempo, a gente precisa de alguma coisa que esteja se repetindo [...] E se a Terra não girasse nem em torno de si mesma nem em torno do Sol, ou seja, se não tivesse dias e noites, teria como a gente perceber a passagem do tempo?*

A6: *Sim, por causa da velhice, a pessoa nasce e cresce... [...]*

A14: *Claro, primeiro a mulher tá grávida, daí o neném vai crescendo...*

A20: *Eu acho que daí não teria como.*

P: *Não sei se teríamos como comemorar aniversário né?*

Confusão de vozes. Risos. Estudantes manifestam concordância gestualmente.

A2: *Você não teria como medir, talvez, o tempo. Porque no referencial você poderia medir o tempo.*

A14: *No caso do aniversário foi uma coisa que a gente inventou, eu acho.*

P: *Será que se não tivesse dias e noites, não teria como medir o tempo?*

A4: *Eu acho que não.*

A20: *Poderia até ter, mas seria mais difícil.*

A2: *Além de máquinas que já foram criadas né?*

P: *Por que será que o homem tem tanta preocupação com o tempo? [...] Toda hora eu estou preocupado com o tempo...*

Estudantes demonstram concordar.

A1: *Na verdade você tá preocupado com o relógio né, e não com o tempo. [...]*

A14: *Com o tempo também. Meu tempo voa né.*

A20: *Se você tá preocupado com o relógio, você tá preocupado com o tempo também.*

A1: *Não, mas pro relógio. Porque se não existisse relógio, seria totalmente diferente...*

Percebemos que muitos estudantes separam tempo de sua medida, ou seja, percebem que o tempo pode existir, mesmo sem estar sendo medido, exceção feita a A1 e A20, que evidenciam claramente a concepção empirista, constatada no pré-teste, uma vez que, para eles, o tempo não existiria sem o relógio. Notamos também que a grande maioria associa a passagem do tempo à idéia de uma mudança constante (como A8, A6 e A14, por exemplo), concordando com a idéia contida no vídeo de que não existiria tempo num mundo físico estático e configurando como um possível obstáculo epistemológico para a compreensão do tempo newtoniano. A9, por sua vez, não demonstra crer nessa visão, o que confirma que sua idéia de tempo está mais próxima da newtoniana. A14, A1 e A15 mencionam formas de medir o tempo, baseadas em ciclos, o professor destaca que as mesmas estão imbuídas de um processo cíclico, seguindo o viés histórico. Aparelhos de medida que se baseavam em fluxo de materiais, como clepsidras e ampulhetas, foram historicamente substituídos pelos que funcionavam a partir de oscilações, como os de pêndulo, o que acabou originando a noção de subdivisão do tempo em partes iguais.

A premissa que regeu nossa intencionalidade educativa foi a solução conjunta das situações cuidadosamente elaboradas pelo professor. No próximo episódio, descrevemos uma análise quantitativa da medida de tempo a partir de um trecho de uma música.

Episódio 2 - Tempo: unidades de medida

Legenda: P - o autor e professor

An - alunos

P: *Quando ela faz a pergunta: Quem sabe quanto vai durar? Ela espera uma resposta que seja um número, acompanhado de uma unidade. Quando a gente fala em tempo 40 minutos, 2 horas, 2 anos, 1 século. [...] A gente consegue medir isso numericamente. O que é uma hora? O que é um minuto? O que é um segundo? [...] O que é uma hora?*

A20: *É 60 minutos.*

Risos

P: *Muito bom A20! Vou até anotar isso aqui no quadro! O que é um minuto?*

A20: *60 segundos.*

P: *Muito obrigado, vou anotar isso também.*

Risos

P: *O que é um segundo?*

A4: *100 centésimos*

P: *100 centésimos de segundo ou mil milésimos de segundo, é...Tá tudo certo... Mas, como é que a gente convencionou uma hora? Ah, uma hora é esse tempo aqui.*

A14: *Algum louco fez isso...*

P: *Qual foi a nossa primeira noção, desde que a gente está aqui no mundo, de tempo? [...]*

A2: *Que pode ser medido, acho que em horas, o dia né? A sucessão de dias e noites.*

[...]

P: *Então, a idéia é essa, a rotação da Terra dura 24 horas... e na verdade o que é uma hora? É a vigésima quarta parte de um dia. Em uma hora, a Terra gira 15 graus. Essa é a convenção. Agora, A20, é estranho. Porque normalmente nosso sistema é decimal. A gente fala assim: dez, cem, mil... e esse sistema de medida de tempo não é um sistema decimal, ele é sexagesimal, 1 hora é 60 minutos, 1 minuto é 60 segundos. E isso é estranho, olha só porque, [...] posso dizer que 1,2 horas é 1 uma hora e 20 minutos?*

A9 e A7: *Não*

P: *[...] 1,2 horas seria uma hora e quantos minutos?*

A7: *Doze*

P: *Isso, porque você faz 0,2 vezes 60. Dá uma hora e doze minutos. Mas porque será que ficou esse sistema? Por que a gente não fala, sei lá, que uma hora é igual a 100 minutos?*

A2: *Ter um dia com 20 horas, em vez de 24.*

P: *Exatamente. Aliás, [...] como é que se descobriu que o dia tem 24 horas?*

A9: *Não se descobriu, se fez.*

Risos

P: *Isso, não é uma coisa descoberta... É uma coisa feita, convencional. Como A2 falou, se a gente quisesse dividir o dia em vinte partes iguais, uma hora seria maior...*

[...]

A14: *Eles dividiram o tempo, né?*

P: *Beleza. Agora, matematicamente, quando a gente olha a história, por que o sistema sexagesimal ainda ficou... até pra falar em graus, a gente diz que uma volta inteira tem  $360^\circ$ . A explicação matemática é a seguinte, o 60 tem muito mais divisores do que o 10. O que são divisores? Matemática agora... Quais são os divisores de 10?*

Alunos falam simultaneamente os divisores de 10. O professor inclui os divisores de 60 e salienta a praticidade do segundo sistema.

A resposta dada por A20 levou a uma importante discussão sobre as unidades de medida de tempo conduzida pelo professor, relacionando a contagem do tempo com a sucessão de dias e noites, ou seja, o movimento periódico de rotação da Terra, a convenção de unidades de medida. Os estudantes demonstraram concordar com a hipótese de arbitrariedade proposta por A2, salientando sua posição social perante o grupo, pela importância e atenção dadas pelos seus pares a suas colocações.

Apesar da arbitrariedade das unidades escolhidas para medir o tempo, o professor, através de uma abordagem interdisciplinar e histórica, aborda o conceito matemático de divisor de um número para mostrar a praticidade de trabalhar com o sistema de base sexagesimal (numeração mesopotâmica), e assim evidenciar que, apesar de arbitrário, o ser humano preferiu o sistema que facilitasse sua abordagem numérica. Historicamente, o sistema sexagesimal e periódico para a medida de tempo perdurou em relação a um sistema decimal e linear, em virtude de sua contribuição na desmistificação da predição dos eclipses [18].

Além do sistema de unidades, uma análise histórica da evolução da precisão da medida de tempo também foi implementada. No Episódio 3, recortado do terceiro encontro, relatamos como a abordagem histórica da precisão proporcionou um debate sobre as concepções de tempo discreto ou contínuo.

Episódio 3 - Precisão da medida de tempo

Legenda: P - o autor e professor

An - alunos

P: *Um nanossegundo corresponde a um bilionésimo de segundo. É pouco, né? [...]* (Risos) *O relógio atômico gente, em média, ele atrasa menos de um nanossegundo por dia. Ele leva 3000 anos para atrasar um segundo. [...]*

A1: *Professor, então até hoje a tecnologia não conseguiu medir certinho? Medir o tempo do relógio certinho?*

P: *A tecnologia está sempre conseguindo medir intervalos de tempo cada vez menores. Então, um relógio de quartzo conseguiria medir milissegundos, o atômico já consegue medir nanossegundos. [...]* *E cada vez mais essa precisão vai aumentando.*

A1: *Então vai chegar uma hora que vai estar certo, não vai mais estar faltando?*

P: *Lembra que eu perguntei para vocês no questionário inicial.[...] Perguntei para vocês se chega uma hora que você não consegue mais dividir?*

A9: *Não*

P: *Sempre você consegue dividir o tempo em uma fração menor?*

A14: *Sempre, sempre... Até o 0,0000000000....*

P: [...]

*Alguns acham que o tempo é contínuo, ou seja, que você sempre pode dividir em uma fração menor, outros que o tempo é discreto, ou seja, existiria uma unidade de tempo que você não pode mais dividir. [...]* *É uma questão de fronteira.*

A14: *Mas se for dividindo e dividindo chega uma hora que some...*

A pergunta de A1 reforça a pertinência da categoria TQ, escolhida para representar a possibilidade de discretização do tempo [14]. Esse mesmo aluno demonstra acreditar numa unidade de tempo indivisível, enquanto A14 defende a idéia de continuidade, manifesta pela noção de que esse intervalo de tempo, no limite, tenderia a zero.

Ainda analisando as faixas do perfil conceitual de tempo dos estudantes, um verso de uma das músicas apresentadas no segundo encontro possibilitou uma discussão sobre as concepções de passado, presente e futuro. No quarto episódio, a manifestação espontânea de opiniões levou ao debate sobre a díade determinismo-probabilismo, a seguir.

Episódio 4 - Passado, presente e futuro

Legenda: P - o autor e professor

An - alunos

P: *O futuro é o presente e o presente já passou. O que é o presente então?*

A9: *É o passado.*

A18: *É esse momento que já passou... [...]* *Então não é mais presente, já é passado.*

Confusão de vozes

A1: *Eu acho que não existe nem futuro.*

- [...] Confusão de vozes... A1 e A7 falam simultaneamente
- A7: *O futuro é o presente, o que você tá agindo hoje? Da sua ação de hoje vai vir o resultado no futuro.*
- A1: *Pra mim só existe o passado. O futuro a gente ainda não viveu e nem sabe se vai viver. Então não existe futuro. A gente fica fazendo planos para daqui a dez anos sendo que a gente não se preocupa com o passado.*
- A7: *Mas amanhã já é o futuro.*
- A9: *Mas o amanhã nunca chega!*
- [...] Confusão de vozes...
- A2: *Do meu ponto de vista, o passado é um tempo longo, o futuro é um tempo longo e o presente é uma linha que separa os dois. O presente é um instante. Esse instante é mínimo.*
- [...]
- P: *E vocês acham que o futuro de cada um já está traçado. Vocês acham que o que vai acontecer no futuro já está pronto?*
- A1: *Não*
- A2: *Claro que não.*
- Vários alunos dizem que não...
- P: *Alguém acha que sim? Que o futuro já está traçado? O tal do destino.*
- A14: *Com certeza! [...] Tipo assim ó, o jeito que a minha vida vai acabar, é o jeito que já imaginavam, como se fosse Deus. Como já está tudo certo, tudo o que eu ia fazer. Todas as minhas atitudes, eu acho que Ele já sabia.*
- P: *E você A8, você acha que não?*
- A8: *Não. [...] É que nem assim ó. Em um emprego, se o cara não trabalhar, ele não vai conseguir chegar a comprar um carro e se ele correr atrás, ele vai chegar.*
- P: *Mas será que o destino dele já estava traçado pra não comprar o carro?*
- A8: *Não, ele pode escolher. Ou eu vou correr para conseguir o carro, ou ficar parado. [...]*
- A14: *Não, mas assim. O seu carro, se você não tiver vai ser seu destino.[...]*
- A8: *Eu acho que o destino é, praticamente, nós que fazemos. Se o cara trabalhar e fizer de tudo para conseguir o carro, eu vou conseguir.*
- A7: *O amanhã depende de hoje.*

A1: *Digamos que o professor ganhou na loto tá? Entrou um ladrão na casa do professor e roubou tudo [...]*

Risos. Muitos alunos falam simultaneamente.

A1: *Seu futuro é ser pobretão pro resto da vida? Seu destino já estava traçado? É isso?*

P: *Esse era meu destino?*

A1: *Não, por isso que eu tô falando, não é destino. Acho que foi uma coincidência, você ganhar hoje e ser roubado hoje. Não é destino.*

Novamente, muitos alunos falam simultaneamente.

A14: *Se você tiver que casar com uma pessoa, você pode passar oito anos noivado com outra que vai acabar casando com aquela. Mesmo ficando tanto tempo com outra. Ah, eu acho que não...*

Essa transcrição ressalta a relevância de uma categorização que seja capaz de discernir as noções de tempo determinístico e probabilístico, denominadas na seção anterior como TD e TI respectivamente. A1 demonstra acreditar em um futuro incerto, apresentando indícios de probabilismo e aleatoriedade, peculiares a TI, enquanto A7 acredita que, apesar de não pré-determinado, o futuro depende de nossas ações, caracterizando uma visão determinista causal, a qual é compartilhada por A8, mas diferente da manifestação de A14 de uma crença em destino e de que nada podemos fazer para mudá-lo. Em relação ao conceito físico de tempo, vale destacar a interpretação de A2 sobre as noções de presente, de passado e de futuro, em concordância com a concepção de tempo da cinemática clássica [11].

Com o objetivo de tornar a dilatação temporal mais plausível aos estudantes e evidenciá-la como consequência do segundo postulado, relatamos, no próximo episódio, a discussão da experiência de pensamento do relógio de luz, mediada pelo professor.

Episódio 5 - Dilatação temporal e o 2º postulado

Legenda: P - o autor e professor

An - alunos

P: [...] *A velocidade é a mesma coisa, é a velocidade da luz. Pro A ela percorre uma distância maior, gente se a distância é maior, para dar a mesma velocidade, o que tem que acontecer aí?*

A9: *Tem que levar um tempo maior.*

A14: *Um tempo menor.*

A9: *Maior! [...]*

Confusão de vozes... Opiniões diversas

P: *Vamos fazer uma conta aqui: 4 sobre 2, isso dá 2 certo? [...] Se eu quiser que esta conta continue dando 2, se eu aumentar esse cara aqui (o numerador), por exemplo, pra 8.*

- A6: *Tem que aumentar aquele ali também...*
- P: *Tem que aumentar esse aqui de baixo também.*
- A9: *Aumenta pra 4.[...]*
- P: *Então qual é o problema desse postulado aqui. Olha, se a velocidade da luz é a mesma e ela percorre uma distância maior pro A, ela tem que levar mais tempo pro A.[...] Ou seja, o tempo passa de uma maneira diferente pro A e pro O. Um segundo pro O, não é um segundo pro A. [...] Se ele falar que a velocidade é absoluta, então eu tenho que mexer no tempo, então o tempo que tem que ser relativo.*
- A9: *Exatamente!*
- P: *Complicado isso aí?*
- A14: *Aham (concorda, gesticulando)*
- A9: *Complicado pensar, mas...*
- A6: *Pra aumentar a velocidade...*
- A9: *Não, a velocidade é a mesma!*
- P: *O problema é que todos vêm a luz se deslocando com a mesma velocidade.*
- A6: *Pois é, então como que vai aumentar o tempo?*
- A7: *Tá, no caso ali é uma situação só, no mesmo momento que eu tô vendo, a pessoa que tá dentro vai estar vendo.*
- P: *Exatamente.*
- A7: *E vai levar tempos diferentes?*
- P: *Vai levar tempos diferentes. Engraçado isso, né? [...]*
- A7: *É!!!*
- P: *É isso mesmo que o Einstein diz, o tempo é relativo!*
- A14: *Depende de quem tá olhando...*
- P: *O tempo é relativo, depende do referencial.*
- [...]
- P: *Quando passa um segundo pro O, por exemplo, quando o A observa passa mais de um segundo.*
- A9: *Dois.*
- P: *Depende, do que?*
- A6: *Do referencial.*
- A4: *Da velocidade.*
- P: *Depende da velocidade do trem e a gente já vai achar uma fórmula pra calcular isso.*

A relação de proporcionalidade entre deslocamento e tempo é explorada, levando à necessidade da dilatação temporal como consequência da experiência. A ênfase dada ao caráter relativo do tempo, ou seja, ao fato de que sua medida depende do referencial, na condução da exposição, permite destacar a dimensão dessa interpretação e a significativa diferença ontológica em relação à visão de tempo da teoria clássica. Com isso, almejava-se que os estudantes reconhecessem a perturbação. Desde o primeiro momento, A7 demonstra assimilar o que está sendo proposto, porém discorda de que isso possa realmente acontecer. Para A9, porém, a noção de tempo relativo parece ser mais plausível em virtude das evidências apresentadas pelo professor, indicando uma apropriação da argumentação. A9 arrisca um valor numérico para o tempo medido pelo referencial de fora e a relação de dependência entre a dilatação do tempo, e a velocidade do móvel aparece naturalmente na resposta de A4.

Após a dedução da expressão matemática que relaciona a velocidade do referencial com a dilatação do tempo, o professor trabalhou com exemplos numéricos para analisar a magnitude deste efeito e também para justificar a não-constatação do mesmo em nossas velocidades cotidianas, conforme transcrito na seqüência.

Episódio 6 - Análise numérica e paradoxo dos gêmeos

Legenda: P - o autor e professor  
An - alunos

P: *[...] se a velocidade da nave for muito menor que a velocidade da luz, o gama é quase um. [...] É quase que imperceptível essa diferença de tempo. Porque ela é muito pequena, mas ela não é nula, pode ser que lá na casa nos nanossegundos... [...] Suponha que a nave se desloque com a metade da velocidade da luz (150000km/s). Se você fizer a conta do gama, ela dá 1,07. [...] Isso significa o seguinte: se pro O passa 1 segundo, pro A passa quanto?*

A9: *1,7*

P: *1,07 segundos. Não é uma coisa assim tão fácil de perceber, mas pensa em um ano, pro O passou um ano, pro A passaria 1,07 de ano, dá um ano e uns 20 dias. [...]*

A7: *Tá, mas pra ele vai ser um ano, ou...tá eu acho que...vamos supor que ele saia no ano de 2000 chega no ano de 2001. Ele vai chegar e pro cara vai ser o ano de 2001 mais vinte dias?*

P: *Exatamente.*

A7: *Tá ele vai chegar e vai ter passado um ano e vinte dias?*

P: *Exatamente. [...]*



P: *Isso! Vou acelerar a nave. 80% da velocidade da luz, o gama dá 1,67. Significa o que? Se passar uma ano pro cara que tá dentro da nave, passa quanto pra quem ficou na Terra? [...]*

A9: *1,67. Um ano e meio*

A7: *Ele vai chegar e vai ter passado um ano e meio!*

P: *Exatamente.*

A9: *Vai ter passado meio ano.*

A8: *Vai ter passado um ano e meio, mas só que pra ele parece que passou um ano. [...]*

A7: *Parece que passou um ano, mas passou um ano e meio.*

A14: *O professor, então também a luz envelhece a pessoa?*

A2: *O relógio dele marcaria um ano. [...] E o que ficou na Terra marca um ano e meio.*

P: *Vamos acelerar isso aí? 99% da velocidade da luz. O gama da 7,1. Agora tá mais legal ó... Passou um ano pro cara na nave, quanto passaria pro cara da Terra.*

A9: *7,1 [...]*

P: *O cara tá dentro da nave, ele sai viajando... Passou um ano pra ele, quando ele voltou aqui já se passaram 7 anos.*

A7: *Tá, mas passou sete anos pra ele também. Ele não vai chegar aqui...*

A8: *Chega lá envelhecesse sete anos, vai ficar?*

Confusão de vozes

A10: *Se eles levassem um relógio de pulso, por exemplo, o relógio iria acelerar?*

P: *Ele não consegue perceber isso pelo princípio da relatividade.*

A7: *Mas vai acelerar?*

Confusão de vozes

A14: *Eu vou até sonhar com isso hoje...*

A abordagem numérica evidencia a importância da linguagem matemática, uma vez que, através da mesma, é possível avaliar os efeitos relativísticos, cada vez mais significativos à medida que a velocidade da nave se aproxima da velocidade da luz. O professor chama para si a responsabilidade de elucidar a argumentação para o modelo relativístico e destaca que, apesar de podermos desprezar os efeitos previstos pela teoria para as velocidades cotidianas, isto não significa

que eles inexistam. A7 insiste em manifestar a irracionalidade dos resultados apresentados, fortemente arraigado à sua concepção de tempo absoluto, identificada no pré-teste. A2 busca uma relação com o relógio, condescendendo com a concepção empirista de tempo. A dicotomia entre o real e aparente se manifesta na colocação de A8. O envolvimento dos estudantes na exposição da situação do paradoxo dos gêmeos reforça o caráter motivador e acertado da discussão.

Em um outro momento da intervenção, analisávamos uma tabela de velocidades, a qual continha diversos valores, desde uma lesma, até os recordes de aviões e foguetes. O objetivo era comparar a magnitude das velocidades cotidianas com a da luz. A solicitação de um aluno nos chamou bastante atenção e descrevemos a condução da argumentação pelo professor no último episódio analisado.

Episódio 7 - Gama para a sonda Helios

Legenda: P - o autor e professor

An - alunos

A2: *Até poderia ser feito um cálculo, vamos dizer com um foguete de 18300 km/h, e ver a porcentagem que é da velocidade da luz, seria 0,000000..., em um ano nessa velocidade talvez se passasse dois, três segundos a menos (olhando para A14), mas seria imperceptível.*

A9: *Talvez na sonda ali ó. Talvez na sonda seja maior.*

P: *Vamos calcular quanto por cento da velocidade da luz corresponde essa velocidade aqui. Que conta que a gente faz? Eu vou dividir a velocidade da sonda Helios, eu tenho uma calculadora aqui, que é de 252800 km/h, vocês podem fazer aí, dividido pela velocidade da luz que é 1080000000 km/h...*

[...]

A10: *0,000234*

P: *Então a velocidade da sonda Helios é igual a 0,0234 por cento da velocidade da luz.*

A9: *Uh*

A14: *Não é nada*

P: *Não é nada, mas é a maior velocidade já registrada por uma sonda na história... Vamos calcular o gama agora, [...] vamos voltar para aquela fórmula lá... [...] isso vai dar quase um. [...]*

A8: *Então professor, quanto mais perto do um, menor o...*

P: *Menor a velocidade.*

A9 faz em sua calculadora

P: *Isso deu 0,999999945, aí eu tiro a raiz disso e inverte... então anotem aí, o gama da sonda Helios da 1,000000027. O que significa isso?*

A1: *Bem mais que o esperado....*

A14: *Bem menos né?*

A9: *Bem menos.*

A2: *Um bilionésimo. Seria dividir 365 por um bilionésimo*

P: *Se passar um segundo pro cara que tá dentro da sonda Helios, passa 1,000000027 s para quem tá aqui na Terra.*

A14: *Ele fica novo em alguns segundos quando chega aqui.*

A2: *Um ano nessa velocidade talvez já desse meia hora, vinte minutos... uma coisa assim que seria uma fração insignificante né?*

P: *Vamos fazer a conta?*

A7: *É aula de física, não de matemática!*

P: *Mas, muitas vezes você não tem como desvencilhar uma da outra.[...]*

A14: *Então quem andar nessa coisa aí, economiza uns segundos né, quando chega aqui? Porque somando tudo isso assim, tudo que tá passando aqui na Terra, dá uns segundos...*

P: *Pra fazer a conta que o A2 falou é o seguinte, se passar um ano na sonda Helios, passou quanto tempo a mais aqui, qual seria o atraso, tá? Se a sonda Helios ficou nessa órbita durante um ano, nessa velocidade e voltou pra Terra, o relógio da sonda Helios tá atrasado em relação ao relógio que tá aqui, quanto tempo? [...] Dá 0,85 segundos, não dá um atraso de nem um segundo.*

A14: *Em um ano!! [...]*

A2: *É um negócio insignificante.*

A9: *Mas, já é alguma coisa.*

A partir da solicitação inesperada de A2, considerando a velocidade da sonda Helios, o cálculo de gama evidenciou a importância da perspectiva interdisciplinar na interpretação do significado da generalização representada por uma equação. Destaca-se, mais uma vez, a adequação de um tratamento matemático para a compreensão dos conceitos trabalhados. Neste episódio, alguns alunos, como A2 e A9, abandonaram a noção de tempo absoluto para aplicar a relativística em uma situação concreta. Esse resultado concorre para o sucesso da ampliação de perfil conceitual pretendida.

#### 4. Análise dos resultados e metacognição

Ao final da intervenção de ensino, um pós-teste (Anexo 2), elaborado com questões semelhantes às do instrumento inicial, assim como outras, de natureza metacognitiva, foi aplicado junto aos estudantes da amostra analisada. Os resultados obtidos foram catalogados segundo as categorias elencadas anteriormente e são apresentados na Tabela 1.

Constatamos que A5, A14 e A17 mantiveram forte influência da noção empirista de tempo, não o separando de sua medida. Porém, para A1, A8, A16 e A20, as atividades parecem ter proporcionado uma evolução conceitual em virtude de não terem manifestado a categoria de TC, a qual havia sido constatada no pré-teste. Percebemos que apenas cinco alunos não elucidaram a concepção relativística de tempo no pós-teste e, mesmo para os que haviam manifestado TR no pré-teste, as atividades contribuíram para esclarecer sua relação com a velocidade e aumentar seu *status* nas interpretações de fenômenos, ampliando assim cada zona do perfil conceitual.

Visando averiguar a metacognição, entendida como a tomada de consciência, pelos estudantes, do processo de transformação de seu próprio perfil, os questionamos sobre a eventual mudança na forma de aceção do tempo (Questão 8, Anexo 2). As frases transcritas das respostas a este item, nos permitem avaliar essa consciência e a relevância das atividades realizadas.

Tabela 1 - Comparação entre concepções prévias levantadas no pré-teste com as obtidas no pós-teste. A primeira linha representa as categorias catalogadas e a primeira coluna, os alunos participantes. O preenchimento cheio representa a categoria apontada somente no pré-teste, o X indica a detectada somente no pós-teste e a hachura quadriculada indica que as categorias foram identificadas em ambos.

	TP	TC	TN	TQ	TD	TI	TR
A1	■	■	X		■		X
A2	X		■				▣
A3			■		■		X
A4			■				X
A5		▣			■		X
A6			■				X
A7			■				X
A8	▣	■					X
A9			■				▣
A10			■				▣
A11		■					
A12	▣						X
A13	X		▣				
A14		▣		■	■		X
A15	■	▣			■		
A16		■	X				
A17	X	▣				■	
A18	■		X				X
A19			■				X
A20		■					

- A1: *Mudou muito e para melhor. Porque antes eu dava mais importância para o relógio do que para o tempo. Eu achava que o tempo era igual para todos e hoje vejo que não.*
- A3: *Sim, porque eu aprendi que o tempo é muito importante, eu achava que o tempo era constante e aprendi que ele pode variar em um tempo imperceptível.*
- A5: *Sim, pois antes de assistir às aulas eu pensava que o tempo era um relógio insignificante e agora vejo que o tempo é científico e relativo.*
- A6: *Sim, pois, na verdade, nunca tinha parado para pensar especificamente sobre o “tempo” em todas as suas indagações. As aulas contribuíram para mudar algumas noções que eu pensava ter sobre o que é o tempo ou como ele é. Esse projeto me fez refletir muito sobre isso e, inclusive, nas nossas primeiras aulas, me fez viajar nisso tudo e refletir sobre ele.*
- A7: *Sim. Antes era assim: “Sei o que é tempo, até me perguntarem”. Antes não tinha palavras para explicar o tempo, hoje ainda não tenho, mas antes meu pensamento sobre o tempo era simples: Tempo é tempo, um segundo é um segundo. Hoje, já não tenho certeza se o tempo é absoluto, também não sei explicar o tempo, é uma polêmica! Será? O tempo passa mais rápido para um que para outros?*

As opiniões dos estudantes nos mostram a consciência dos mesmos em relação à ampliação de seus perfis conceituais de tempo. A1 e A5 revelam que, antes da intervenção, suas idéias sobre tempo estavam muito relacionadas com o relógio, caracterizando a categoria TC (empirismo, segundo Martins e Pacca [16]), e que, após as reflexões, eles admitem que o tempo possa depender de um referencial, característica fundamental da categoria de TR. A3 e A7, os quais acreditavam numa noção absoluta de tempo, agora já admitem que o mesmo possa ser relativo. A6 revela que não havia pensado tanto sobre o tempo e não percebia as suas diversas interpretações; ele aponta que as discussões feitas em sala foram responsáveis por uma mudança em sua concepção. A7 exprime o conflito entre a noção absoluta e relativística, gerado pelas atividades desenvolvidas.

## 5. Conclusões

Diversos autores propõem uma atualização dos currículos escolares de Física do Ensino Médio através da inserção de tópicos de física moderna e contemporânea, conciliando os avanços obtidos pela ciência do século XX aos conceitos classicamente abordados, em função do apelo dos últimos à realidade cotidiana e por oportunizarem uma ampliação na capacidade de

abstração dos educandos. Em nossa pesquisa, selecionamos especificamente o conceito de tempo, uma vez que uma das possíveis contribuições do ensino da teoria da relatividade, analisada mais cuidadosamente por nós, é justamente a ampliação do perfil conceitual de tempo propiciada pelo reconhecimento de sua relação com a velocidade e dependência do referencial, características do tempo relativístico. Optou-se por implementar a intervenção de ensino ao término da abordagem dos conceitos clássicos, no estudo da Cinemática.

Pudemos constatar tanto a construção do conhecimento intuitivo (no caso do nosso estudo pela elucidação das categorias TP, TC, TI e TD), quanto do contra-intuitivo (TN e TR), num mesmo processo. Nossos resultados indicam uma hierarquia na disposição das diferentes noções de tempo, conforme apontado Martins e Pacca [16] em sua proposição de perfis epistemológicos para esse conceito, mostrando outras facetas da consolidação do perfil conceitual. A hierarquização poderia induzir à mudança conceitual, o que diverge dos pressupostos metodológicos adotados, firmados na coexistência de noções e utilização de cada uma delas nos contextos apropriados. Nos episódios de ensino descritos, os estudantes puderam externar e debater sobre suas concepções. O objetivo dessas atividades, planejadas e implementadas sob o referencial da enculturação [13], residia em aprofundar a diversidade, os conflitos e a criatividade. Nestes, o professor atuou como mediador da discussão, levantando as questões mais relevantes ou interpondo outras de natureza lógica, sem fornecer respostas para as mesmas. Isso possibilitou que os estudantes percebessem as diversas faces e interpretações deste conceito, através dos posicionamentos de seus próprios colegas, reforçando a importância da interação entre os pares para o processo educacional. O tratamento dado ao tempo na cinemática clássica reforça seu caráter absoluto, o que também foi caracterizado por nós como um obstáculo para a noção relativística.

O efeito conhecido como dilatação temporal foi legitimado, tanto através de argumentos teóricos, como pela menção dos resultados experimentais. Os estudantes manifestaram resistência à aceitação do tempo relativístico, elucidando suas concepções clássicas e evidenciando o processo de conflito, em concordância com o resultado apontado por Scherr *et al.* [19], enquanto o professor buscava argumentos que concorressem para a plausibilidade do mesmo. A análise numérica se mostrou fundamental para a compreensão da relação matemática entre a velocidade do referencial e a magnitude da dilatação do tempo.

Por outro lado, acreditamos que a assimilação só pode ser constatada à medida que os alunos sejam capazes de aplicar os conceitos em situações diversas, particularmente, as situações perturbadoras utilizadas no início do processo. Sendo assim, nossos resultados evidenciam o sucesso da estratégia adotada e a pertinência do referencial teórico para as análises. A inserção de

física moderna no Ensino Médio, desta forma, não só é desejável, como efetivamente proffica.

## Anexo 1: Pré-teste

### Questão 1

Santo Agostinho, famoso teólogo que viveu no século V, disse certa vez: “Sei muito bem o que é o tempo - até que alguém me pergunte”.

1.1 Longe de buscarmos uma definição precisa sobre o conceito de tempo, e apesar de utilizarmos a palavra tempo em nosso dia-a-dia, pedimos que você leia atentamente as frases que seguem e marque com um X a(s) que mais se aproxima(m) da idéia de tempo que você tem.

- a.  O tempo não passa na aula do professor Chatonildo!
- b.  O atleta completou a prova em um tempo de 1 hora 45 minutos e 37 segundos.
- c.  O tempo passa, não temos como impedir.
- d.  O tempo dirá e não há o que você possa fazer para mudar.
- e.  Se eu for duas vezes mais rápido, levarei a metade do tempo para chegar em casa.
- f.  Todas as luzes da praça acenderam ao mesmo tempo.
- g.  Não temos todo o tempo do mundo, o amanhã pode nem chegar!
- h.  O tempo passa mais devagar nos relógios em movimento.
- i.  O tempo se revela como um filme, quadro a quadro.

1.2 Explique, para cada uma das frases que assinou, qual é o significado da palavra tempo que você tem em mente.

1.3 Escreva com suas próprias palavras: o que é tempo para você?

### Questão 2

Quando você olha para o espelho pela manhã, para fazer a barba ou a maquiagem, sente que o tempo está passando. Você pode pensar um pouco no assunto olhando para sua própria imagem, mas logo outros pensamentos vão distrair sua atenção. O mundo lá fora te chama. O despertador toca. Acabou o tempo, você deve sair logo senão chegará atrasado na escola.

2.1 Se a passagem do tempo é uma característica da percepção humana, pois sentimos que o tempo flui, podemos comparar esse mesmo fluxo ao vôo de uma flecha ou ao movimento eterno das águas de um rio. Essa comparação é válida? Podemos afirmar que o tempo flui do passado para o futuro? Qual a sua opinião sobre isto?

2.2 Sir Isaac Newton, um dos maiores físicos de todos os tempos, escreveu:

*O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si só e por sua própria natureza, flui uniformemente, sem*

*relação com nenhuma coisa externa, e é também chamado de duração.*

Qual a sua opinião sobre esta idéia de tempo? Explique.

2.3 Quando olhamos para o céu, durante uma noite estrelada, estamos observando o:

- Passado
- Presente
- Futuro

Por quê?

2.4 Observando essa mesma bela noite estrelada, você percebe que duas estrelas se apagam ao mesmo tempo. Podemos afirmar que todos os observadores, em qualquer lugar do universo, verão essas mesmas duas estrelas se apagando ao mesmo tempo? Justifique sua resposta.

### Questão 3

O tempo é medido pelo relógio através de processos físicos que envolvem a repetição. A própria sucessão de dias e noites já nos dá uma forma de medirmos o tempo.

A precisão na medida do tempo foi aumentando de acordo com as necessidades sociais. Os egípcios criaram os primeiros calendários para prever a duração das estações e, conseqüentemente, as cheias do Rio Nilo, que afetavam diretamente sua agricultura. Os relógios foram sendo aprimorados: de relógios solares, ampulhetas e relógios de água, passando por relógios que envolvem processos mecânicos, como os de pêndulo, até os atuais e superprecisos relógios atômicos.

3.1 Se todos os relógios do mundo quebrassem e não houvesse dias e noites, ainda haveria tempo? Qual a sua opinião sobre isto?

3.2 Um décimo de segundo é um segundo dividido em dez partes iguais, certo? Da mesma forma, um milésimo de segundo é um segundo dividido em mil partes iguais, um milionésimo de segundo é um segundo dividido em um milhão de partes iguais e assim por diante... Você acha que existe uma unidade de tempo que seja indivisível? Por quê?

3.3 Imagine que você esteja assistindo, em sua casa, à final do campeonato estadual de futebol. Um jogador de seu time cobra uma falta com extrema precisão e coloca a bola “no ângulo”, fazendo um golaço. Podemos dizer que você começa a comemorar o gol no mesmo instante que a torcida que está presente no estádio? Justifique.

### Questão 4

4.1 Numa tempestade ouvimos o som do trovão só algum tempo depois de vermos o relâmpago. Como você pode explicar essa afirmação?

4.2 Em uma festa de comemoração do ano novo, dois amigos, Rafael e Fábio, observam um maravilhoso espetáculo de fogos de artifício. Os dois notam que a luz emitida pela explosão é percebida antes do som

produzido pela mesma. Será que a luz é transmitida imediatamente do ponto onde ocorreu a explosão aos nossos olhos? Os dois têm opiniões distintas para esta questão. Observe o diálogo entre os amigos:

Rafael: Qual será o valor da velocidade da luz? Será finita ou infinita? Será que podemos fazer uma experiência para medir a velocidade da luz?

Fábio: Pô Rafa, que história é essa? É fácil perceber que a propagação da luz é instantânea. Quando vemos, à distância, a explosão do foguete, a claridade chega aos nossos olhos imediatamente, o que não ocorre com o som, que chega aos nossos ouvidos um pouco depois.

Rafael: Calma lá Fábio! Isso só prova que o som chega aos nossos ouvidos num tempo maior que aquele gasto pela luz. Porém, não garante que o movimento da luz seja instantâneo. Assim, penso que a luz gasta também um certo tempo para chegar aos nossos olhos, mas é tão pequeno que não conseguimos perceber.

No desenrolar da conversa, os amigos apresentaram opiniões diferentes sobre a velocidade da luz. Qual a sua opinião a esse respeito? Você concorda com algum dos amigos? Justifique.

### Questão 5

Imagine agora a seguinte situação: Rafael está parado em relação ao solo e observa um ônibus que se desloca em movimento retilíneo e uniforme em relação a ele. No interior desse ônibus, sentado em uma poltrona, se encontra Fábio. Suponha que o ônibus seja totalmente transparente, de tal forma que Rafael consiga ver tudo o que acontece em seu interior.

5.1 Os dois amigos observam uma determinada poltrona do ônibus. Para Rafael esta poltrona está em movimento ou em repouso? E para Fábio? Justifique sua resposta.

5.2 Uma lâmpada se desprende do teto do ônibus em direção ao chão. Qual é a forma da trajetória descrita pela lâmpada, durante a sua queda, quando vista por Fábio? E por Rafael? Justifique sua resposta fazendo um desenho que representa a trajetória da lâmpada vista por Fábio e por Rafael. Considere desprezível a resistência do ar.

5.3 Quando anoitece, o motorista decide acender as luzes do interior do ônibus. Para Fábio, todas as luzes são acesas ao mesmo tempo? Rafael terá essa mesma impressão? Justifique.

5.4 Se as cortinas do ônibus fossem todas fechadas e se o mesmo não emitisse nenhum barulho, Fábio teria como se certificar que o ônibus está em movimento?

Se não, por quê?

Se sim, de que maneira?

5.5 Suponha que o ônibus se desloque em relação ao solo com uma velocidade de 10 km/h. Se Fábio se deslocar com uma velocidade de 2 km/h em relação ao ônibus, qual será sua velocidade quando observado por Rafael? Justifique.

### Questão 6

Os dois irmãos da foto (Fig. 1), Brad à esquerda, e Pitt, à direita, são entrevistados por um repórter:

- Vocês são irmãos gêmeos? - perguntou o repórter.

Eles prontamente respondem:

- Sim!

O repórter, com certa desconfiança, indaga:

- Mas, sinceramente, não parece. Diga pra nós Brad, qual é o seu segredo?

E ele responde: Exercícios diários, alimentação saudável e viagens em altíssima velocidade!

Qual a sua opinião sobre a justificativa de Brad?



Figura 1 - Paradoxo do tempo: um dos irmãos gêmeos envelhece ao ritmo normal enquanto o tempo passa mais lentamente para o outro.

### Anexo 2: Pós-teste

1. Se você estivesse viajando dentro de uma nave espacial a uma velocidade constante em relação às estrelas e próxima à velocidade da luz, mas sem poder olhar para fora, você:

a) poderia detectar seu movimento porque sua massa iria crescer.

b) poderia detectar seu movimento porque seu coração ficaria mais lento.

c) poderia detectar seu movimento porque você iria encolher.

d) poderia detectar seu movimento por todos os motivos abordados nas afirmações acima.

e) nunca poderia saber de fato se está se movendo ou não dentro da própria nave.

Justifique a opção escolhida

2. Imagine a seguinte situação: dois amigos, Fábio e Rafael, estão dentro de um vagão. Rafael, à direita, segura uma lanterna e quando a acende, um feixe de luz parte da lanterna na direção de Fábio. Considere a velocidade da luz igual a  $3,10^8$  m/s. Justificando cada item, responda às questões abaixo.

2.1 Para Fábio, qual será a velocidade da luz quando:

a) ele está em repouso em relação à Rafael;

b) ele se move para a direita com velocidade de 5 m/s;

c) ele se move para a esquerda com velocidade de 3 m/s.

Considere que o vagão esteja em repouso em relação ao solo.

2.2 Suponha agora que um terceiro amigo, Pedro, encontre-se fora do vagão e em repouso em relação ao solo. Para Pedro, qual será a velocidade da luz que parte da lanterna de Rafael, quando:

a) o vagão se move para a esquerda com uma velocidade de 50 m/s;

b) o vagão se move para a direita com uma velocidade de 40 m/s.

3. Durante nossas aulas, vimos uma famosa experiência da história da física que ficou conhecida como a experiência de Michelson-Morley, em homenagem aos seus principais idealizadores. Explique essa experiência com suas palavras, destacando qual era o seu principal objetivo. Ele foi atingido? Por quê?

4. Vimos que a teoria da relatividade prevê “estranhos” efeitos como a dilatação do tempo e a contração do comprimento.

4.1 Conseguimos perceber estes efeitos em nosso dia-a-dia? Justifique.

4.2 Em sua opinião, esses efeitos existem mesmo? Por que você acha isso?

5. Idêntica à sexta questão do pré-teste.

6. Fábio Lesma tem que entregar um trabalho daqui a uma hora, como o professor lhe ordenou. Como sempre, Fábio atrasou-se. Não consegue acabar o trabalho dentro de uma hora. Entre as opções abaixo, o que Fábio poderia fazer para resolver este problema? Justifique sua opção.

a) Fábio deverá fazer o trabalho dentro de uma nave que se desloca com altíssima velocidade em relação a Terra.

b) Fábio deverá enviar o professor para uma viagem em altíssima velocidade.

c) Os dois, Fábio e o professor, devem embarcar em uma nave que se desloca em alta velocidade.

d) Nenhuma das opções acima resolveria o problema de Fábio, ele não acaba o trabalho em tempo de entregar a seu professor.

7. Dois irmãos gêmeos, Rick e Renner, têm, hoje, 30 anos. Rick entra em uma nave e parte para uma viagem espacial com uma velocidade de  $0,8c$ . Suponha que a viagem tenha durado 20 anos para Rick.

a) Quanto tempo durou a viagem para Renner?

b) Quais as idades dos irmãos depois da viagem?

c) Se a nave possui 10 m de comprimento para Rick, qual é seu comprimento quando observada por Renner?

8. Durante o projeto, dedicamos bastante tempo para discutir sobre o que é tempo. Refletindo sobre estas discussões, responda, justificando cada item:

8.1 Se todos os relógios do mundo quebrassem e não houvesse dias e noites, ainda haveria tempo?

8.2 O tempo passa da mesma forma para todos?

8.3. Em sua opinião, as atividades realizadas contribuíram de alguma forma para mudar a idéia de tempo que você tinha anteriormente?

9. Dê sua opinião geral sobre o projeto de ensino de relatividade desenvolvido em sua escola. A metodologia lhe agradou? O tempo foi suficiente? Os textos fornecidos foram acessíveis? As explicações foram claras? Que atividades mais gostou? O que poderia ser melhorado? Você acha que a relatividade deva ser ensinada no Ensino Médio? Por quê? Use este espaço para fazer sugestões, elogios e críticas gerais sobre o projeto.

## Referências

- [1] I. Kant, *Crítica à Razão Pura* (Nova Cultural, São Paulo, 1978).
- [2] J. Piaget, *A Noção de Tempo na Criança* (Record Cultural, São Paulo, 1946).
- [3] P. Davies, *Sci. Am.* **1**, 54 (2002).
- [4] A. Damasio, *Sci. Am. Brasil* **1:5**, 78 (2002).
- [5] I. Prigogine e I. Stengers, *A Nova Aliança: Metamorfoses da Ciência* (Editora da Universidade de Brasília, Brasília, 1997).
- [6] A.F.P. Martins e J. Zanetic, *Cad. Bras. Ens. Fís.* **19**, 149 (2001).
- [7] M.A. Moreira, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **22**, 94 (2000).
- [8] D. Bolzan, *Formação de Professores - Compartilhando e Reconstruindo Conhecimentos* (Mediação, Porto Alegre, 2002).
- [9] R.A.S. Karam, D. Coimbra e S.M.S.C. Souza Cruz, in *V ENPEC*, Bauru, 2005, comunicação oral.
- [10] J. Stachel, (org.) *O Ano Miraculoso de Einstein: Cinco Artigos que Mudaram a Face da Física*. (Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 2001).
- [11] A.S. Chaves, *Física* (Reichmann & Affonso Ed., Rio de Janeiro, 2001).
- [12] Brasil, Ministério da Educação, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio* (Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Brasília, 1999).
- [13] E.F. Mortimer, *Science & Education* **4**, 265 (1995).
- [14] R.A.S. Karam, *Relatividade Restrita no Início do Ensino Médio: Elaboração e Análise de uma Proposta*. (Dissertação de Mestrado, Florianópolis, 2005).
- [15] A.M.P. Carvalho, e M.E.R. Gonçalves, *Cad. Pesq.* **111**, 71 (2000).
- [16] A.F.P. Martins e J.L.A. Pacca, *Investigações em Ensino de Ciências* **10**, 1 (2005).
- [17] L.N. Daly and Horton G.K., *The Physics Teacher* **32**, 306 (1994).
- [18] O. Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity* (Dover Publications, New York, 1969), 2<sup>nd</sup> ed.
- [19] R.E. Scherr, P.S. Shaffer e S. Vokos, *Am. J. Phys.* **69**, S24 (2001).