

EXPERIÊNCIA DE MICHELSON-MORLEY NO ENSINO MÉDIO: PRERROGATIVAS E POSSIBILIDADES

Ricardo Avelar Sotomaior Karam^a (rkaram@ced.ufsc.br)
Sonia Maria Silva Correa de Souza Cruz^a (sonia@fsc.ufsc.br)
Débora Coimbra^b (deboracoimbra@terra.com.br)

^aPrograma de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica – Departamento de Física –
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

^bDepartamento de Física – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP

RESUMO

Olhando retrospectivamente para a história da Física, a experiência de Michelson-Morley, cujo intuito era a detecção de alterações previstas na velocidade da luz, vista por um observador terrestre, decorrentes do movimento da Terra em relação ao éter, ocupa um lugar de destaque sendo considerada por alguns historiadores como a experiência mais importante da Física. Na maioria dos cursos que abordam Relatividade Restrita no Ensino Superior, este experimento é tratado qualitativa e quantitativamente, muitas vezes evocando a existência de um elo causal, como expresso em diversos livros didáticos, entre o mesmo e o surgimento da teoria. Apesar das controversas interpretações da sua relação com a gênese da Relatividade, esta experiência torna-se pedagogicamente interessante para o ensino de Física, pois envolve diversos fenômenos e conceitos físicos, como o princípio da relatividade e o caráter ondulatório da luz, além de seu resultado questionar um dos pilares da então homogênea Mecânica Clássica, o que propicia uma discussão epistemológica sobre crises científicas e transição de teorias. Neste trabalho, refletimos sobre a possibilidade de se mencionar a experiência de Michelson-Morley no Ensino Médio, relatando a multiplicidade de enfoques que podem ser abordados neste nível, enfatizando a necessidade de se articular teorias clássicas e modernas, e descrevendo resultados de intervenções em sala de aula que tiveram como objetivo ensinar tópicos da Relatividade Restrita, dentre eles o funcionamento e resultado desta experiência, para estudantes do primeiro ano do Ensino Médio. Os resultados obtidos apontam para o sucesso da estratégia didática adotada, bem como reforçam a vantagem de se tratar temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

PALAVRAS-CHAVE: Experiência de Michelson-Morley, Física Moderna e Contemporânea, Ensino Médio.

INTRODUÇÃO

No final do século XIX houve uma intensa busca do efeito do movimento do observador sobre a velocidade da luz. A mais precisa e conclusiva experiência nesse sentido foi realizada pelo físico americano Albert Abraham Michelson e seu colaborador Edward Williams Morley. O intuito dessa experiência era de observar alterações previstas na velocidade da luz, decorrentes do movimento da Terra em relação ao éter¹, do ponto de vista de um observador terrestre. Em seu movimento orbital em torno do Sol, a Terra desenvolve a velocidade de 30 km/s, ou seja, 10^{-4} vezes a velocidade da luz. Se o Sol está parado em relação ao éter, a velocidade de translação da Terra corresponde à velocidade da mesma em relação a esse meio; caso o Sol se mova em relação ao éter,

¹ Éter pode ser definido, segundo a perspectiva de Maxwell ou de Fresnel, como um meio num estado de repouso absoluto em relação às estrelas fixas, o meio de propagação da luz e através do qual a Terra se desloca como se fosse transparente em relação a ele (PAIS, 1995, p. 126), ou seja, esse meio não oferece resistência ao movimento dos corpos materiais.

a velocidade da Terra em relação a este será variável ao longo de sua órbita, sendo maior ou menor que a velocidade de translação, dependendo da fase na órbita.

O interferômetro desenvolvido por Michelson era capaz de determinar com precisão pequenas alterações nas diferenças de tempo de trânsito de dois feixes de luz, originários de um mesmo feixe decomposto, percorrendo circuitos diferentes e se reencontrando num mesmo ponto final. Em outras palavras, seu método consistia em comparar os intervalos de tempo necessários para a luz percorrer a mesma distância, paralela ou transversalmente à direção de movimento da Terra em relação ao éter, pois a velocidade da luz não seria isotrópica. Michelson pretendia dividir um feixe de luz em direções perpendiculares entre si e mostrar que os mesmos deveriam percorrer distâncias iguais em tempos diferentes em virtude da diferença de suas velocidades em relação à Terra. Uma visão pictórica do dispositivo é apresentada na Figura 1.

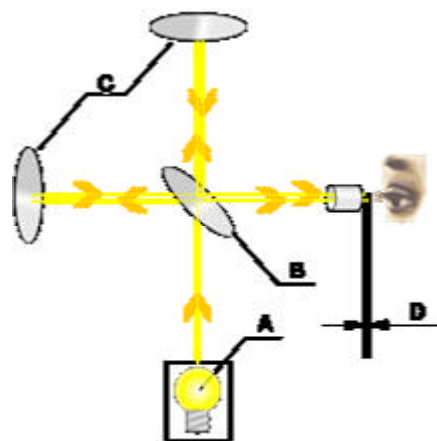


Figura 1. Visão esquemática do Experimento de Michelson-Morley. Os espelhos C refletem totalmente os raios de luz incidentes, os quais, partindo de A, são separados em B, um espelho semi-transparente (50 %) e detectados em D.

FONTE: http://es.wikipedia.org/wiki/Experimento_Michelson-Morley

A alteração na defasagem dos feixes quando o aparato é girado, ao se combinarem na luneta, varia ao longo do perfil ortogonal ao feixe combinado. A imagem resultante deve mostrar franjas de interferência análogas às que aparecem na experiência de Young, representadas na Figura 2. Se a variação de fase for igual a 2π , o padrão de interferência se deslocaria lateralmente de um valor igual à separação das franjas, de forma que o padrão recairia sobre si próprio (Figura 2 b). Na experiência de Michelson e Morley, foi usada luz amarela $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ e o deslocamento previsto era de 40 % da separação das franjas (havendo defasagem no padrão, esperava-se encontrar o centro escuro devido à interferência destrutiva, como na Figura 2 a). Nenhum deslocamento foi observado, como ilustra a Figura 2 b) embora qualquer deslocamento superior a 1% da separação pudesse ser detectado.

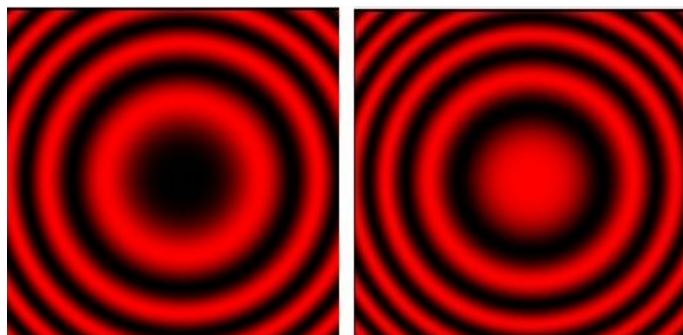


Figura 2: a) Espectro esperado no detector do Interferômetro de Michelson. b) Espectro obtido.

Olhando retrospectivamente para a história da Física, a experiência de Michelson-Morley ocupa um lugar de destaque, sendo considerada por alguns autores como a experiência mais famosa

da Física (Holton, 1969). Seu resultado negativo, ou seja, a não-detecção de movimento em relação ao éter, foi motivo de grande desapontamento, não só para os autores, mas também para Kelvin, Rayleigh e Lorentz (PAIS, 1995, p.127). Em anos posteriores, Michelson repetiu a experiência por várias vezes, a última em 1929, obtendo sucessivamente o mesmo resultado frustrante.

Holton (1969) aponta que é muito difundida na literatura a idéia de que o resultado negativo da experiência de Michelson-Morley tenha sido crucial para a origem da teoria da relatividade. O autor apresenta trechos de artigos escritos em publicações de alta credibilidade que evidenciam essa concepção: *A teoria da relatividade restrita começou como uma generalização do resultado da experiência de Michelson* (MILLIKAN, apud HOLTON, 1969, p. 970). *A experiência de Michelson foi fundamental para a teoria da relatividade* (LAUE, apud HOLTON, 1969, p. 971).

Segundo o autor, esta visão não é corroborada pelas evidências disponíveis. Por exemplo, quando perguntado sobre a relevância da mesma para a gênese de sua teoria, Einstein contrapõe:

Sobre meu próprio trabalho, o resultado de Michelson não exerceu influência considerável. Nem mesmo me recordo se o conhecia quando escrevi, pela primeira vez, sobre o assunto em 1905. A razão reside em que eu estava, por motivo de ordem geral, firmemente convencido de que o movimento absoluto não existe e meu problema se resumia em saber como conciliar esse ponto com o conhecimento que temos da eletrodinâmica. Entende-se, assim, porque, em minha obra pessoal, não coube papel, ou pelo menos, papel decisivo ao experimento de Michelson (EINSTEIN, apud HOLTON, 1969, p. 969).

Pais (1995) afirma que, tanto Einstein sabia do resultado do experimento, quanto esse trabalho influenciou a criação da teoria da Relatividade Restrita², no entanto, não existe um elo causal, como diversos livros didáticos de ensino superior fazem parecer. Nesse sentido, Chapman (1979, p. 217) defende que o tratamento da História deve respeitar a validade histórica. Segundo Holton (1969), a visão de que o resultado da experiência tenha sido o principal responsável pela gênese da relatividade é totalmente equivocada, baseada em uma concepção *experimentalista* de ciência que supervaloriza os resultados experimentais e que acredita que as novas teorias são respostas a anomalias detectadas experimentalmente.

Independentemente de a experiência de Michelson-Morley ter sido ou não fundamental para o surgimento da relatividade, ela suscita importantes questões e envolve múltiplos fenômenos físicos e, por isso, tornou-se pedagogicamente irresistível (Holton, 1969). Nesse sentido, seria pedagogicamente interessante abordá-la no currículo de Física do Ensino Médio? Se sim, quando e como?

DIVERSIDADE DE ENFOQUES E CONCEITOS

Partindo da idéia de que a inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio deva ser feita de forma integrada aos conteúdos clássicos (Resnick, 1987; Terrazzan, 1994), relatamos neste item algumas possibilidades de enfoques diferentes que o estudo da experiência de Michelson-Morley propicia e, por esta razão, defendemos sua abordagem no Ensino Médio.

Mecânica Clássica: princípio da relatividade e composição de movimentos

A experiência de Michelson-Morley contradiz um dos princípios centrais da Mecânica, denominado Princípio da Relatividade, o qual foi proposto inicialmente por Galileu Galilei. Segundo o cientista italiano, o movimento é sempre relativo, isto é, não existe movimento absoluto. Dessa forma, é impossível distinguir o estado de repouso do de movimento retilíneo e uniforme. Ou ainda, de uma forma mais ampla, as leis da mecânica são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Assim, imaginando-se no interior de um trem que se desloca em movimento retilíneo e

² A experiência de Michelson-Morley foi extensivamente discutida no artigo de Lorentz sobre a aberração da luz e a experiência de Fizeau de 1895, cujos efeitos foram discutidos pelo autor sob o ponto de vista da teoria eletromagnética. Einstein se familiarizou com este artigo antes de 1905 (PAIS, 1995, p. 134).

uniforme em relação ao solo, não existe nenhuma experiência, utilizando as leis da mecânica, que possa ser feita dentro do mesmo para comprovar que o trem esteja se movendo.

Tradicionalmente, os livros didáticos destinados ao 1º ano do Ensino Médio, mencionam que é necessário estabelecer um referencial para afirmar se um corpo está ou não em movimento. Exemplos clássicos são abordados para destacar a possibilidade de um corpo estar em repouso em relação a um referencial e em movimento em relação a outro³, mas uma discussão mais aprofundada sobre as consequências deste princípio não costuma ser conduzida e o mesmo é exposto como trivial (KARAM, SOUZA CRUZ e COIMBRA, 2006). O Princípio da Relatividade é mais contraintuitivo do que possa parecer à primeira vista, pois, segundo ele, é impossível detectar experimentalmente o movimento uniforme. Não há nenhum fenômeno, nenhuma lei da Mecânica, que seja alterada em virtude do movimento retilíneo e uniforme.

A experiência de Michelson-Morley objetivava detectar o movimento uniforme da Terra em relação ao éter através de um experimento realizado na própria Terra e, por essa razão, contradizia o próprio Princípio da Relatividade. No final do século XIX seus idealizadores estavam certos de que este princípio não deveria valer para as leis do eletromagnetismo e por isso acreditavam que seria possível provar o movimento da Terra através de sua experiência, pois consideravam o éter como um referencial absoluto. Porém, o resultado negativo da experiência de Michelson-Morley, pode ser interpretado a partir de uma generalização do princípio da relatividade a todas as leis da Física, opção feita por Einstein para enunciar o primeiro postulado da Relatividade Restrita. Como a questão do referencial e do movimento relativo já é abordada desde o primeiro contato do estudante com a Física, acreditamos que a experiência de Michelson-Morley já possa ser mencionada nesse momento visando uma ampliação das discussões sobre o Princípio da Relatividade.

Outra consequência interessante da relatividade galileana que costuma ser abordada nos livros didáticos do 1º ano do Ensino Médio é o princípio da independência dos movimentos. Situações envolvendo travessias de barcos ou lançamento de projéteis reforçam a idéia de que o movimento pode ser decomposto em direções diferentes que são analisadas de forma independente. Em um lançamento horizontal, por exemplo, a velocidade inicial do projétil não interfere em seu tempo de queda; na travessia de um barco, a velocidade da correnteza não interfere no tempo gasto para o mesmo ir de uma margem à outra.

O objetivo central da experiência de Michelson-Morley era medir a diferença de tempo entre o feixe de luz que se deslocava na mesma direção do movimento da Terra e o que se movia em uma direção perpendicular a ela. Trata-se, portanto, de um problema de composição de movimentos e a adição galileana de velocidades pode ser aplicada. A dedução matemática da diferença de tempo esperada pela experiência pode ser mais facilmente visualizada, e conseqüentemente abordada no Ensino Médio, a partir de uma situação análoga envolvendo a travessia de um nadador como mostra a figura 3.

³ o movimento de um corpo, visto por um observador, depende do referencial no qual o observador está situado (ALVARENGA E MÁXIMO, 2000, p. 46).

[...] movimento é sempre um conceito relativo, só faz sentido falar em movimento de um corpo em relação a outro corpo. Um passageiro sentado num ônibus que percorre uma estrada está em movimento em relação a uma árvore junto à estrada, mas está parado em relação ao ônibus. [...] em outras palavras, um corpo está em movimento quando sua posição, em relação a um determinado corpo de referência, varia com o decorrer do tempo (GASPAR, 2000, p. 38).

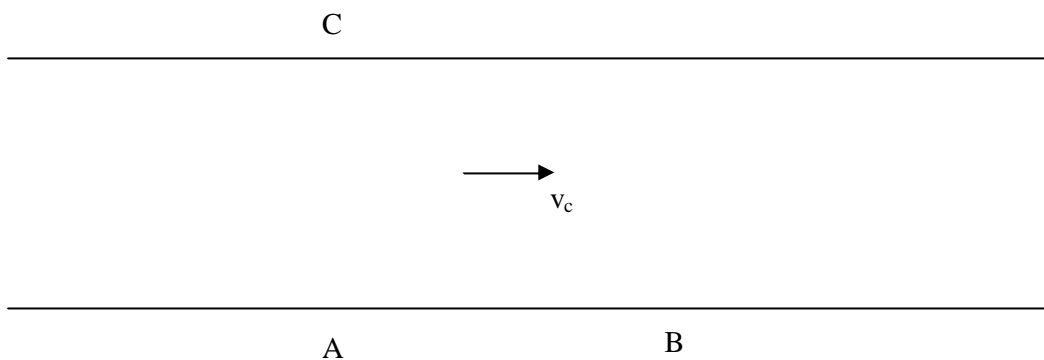


Figura 3: Esquema do problema da travessia do nadador, o qual é análogo à experiência de Michelson-Morley.

Suponha que um nadador queira se deslocar do ponto A até o ponto B, separados por uma distância x , e posteriormente retornar ao ponto A. Considerando constante sua velocidade em relação ao rio (v_B) e denotando a velocidade da correnteza em relação a margem por v_C , podemos demonstrar que o tempo gasto no trajeto horizontal ABA seria

$$\Delta t_H = \frac{2 \cdot x \cdot v_B}{v_B^2 - v_C^2}.$$

Supondo agora que o nadador parta do ponto A, nade até o ponto C, localizado a uma distância x de A, e retorne ao ponto A. Pode ser demonstrado que o tempo gasto no trajeto vertical ACA é

$$\Delta t_V = \frac{2 \cdot x}{\sqrt{v_B^2 - v_C^2}}.$$

Assim, o tempo gasto no trajeto horizontal é sempre maior e a razão entre eles é

$$\frac{\Delta t_H}{\Delta t_V} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_C^2}{v_B^2}}}.$$

Um exemplo numérico pode facilitar a compreensão, por parte de estudantes do 1º ano do Ensino Médio, da existência de uma diferença de tempo entre os dois trajetos. Dessa forma, utilizando a decomposição de movimentos e um exemplo análogo, a experiência de Michelson-Morley pode ser matematizada e, inclusive, pode-se perceber que a diferença de tempo que deveria ser medida seria muito pequena, pois dependeria do quadrado da razão entre a velocidade da Terra através do éter (30 km/s) e a velocidade da luz (300.000 km/s).

Ondulatória: diferenças entre luz e som, éter e interferência

Quando se inicia o estudo dos fenômenos ondulatórios, normalmente conduzidos durante o 2º ano do Ensino Médio, é comum classificar os diferentes tipos de ondas. Dentro desta classificação são diferenciadas as ondas mecânicas, as quais necessitam de um meio material para se propagarem, das eletromagnéticas, que podem também propagar-se no vácuo. O principal exemplo de onda mecânica é o som e o de onda eletromagnética é a luz. Esta diferenciação entre som e luz é feita de maneira muito superficial e, quando analisamos a história da Física, percebemos que a comunidade científica levou muito tempo e se deparou com diversos impasses para aceitar essas diferenças.

Uma das premissas da teoria ondulatória é que a onda trata-se de uma perturbação que se propaga em um meio material. Assim, depois da confirmação do caráter ondulatório da luz pela experiência de Young, evidenciado pela observação dos fenômenos de difração e interferência

luminosa, a necessidade de um meio que transmitisse a luz foi evocada. Retomando as idéias de Aristóteles, esse meio seria o éter e sua detecção experimental passou a ser essencial para a confirmação da teoria ondulatória da luz.

Através de uma analogia entre som e luz, pode-se compreender mais facilmente o objetivo da experiência de Michelson-Morley. Como a velocidade de uma onda depende das características do meio, independentemente da velocidade da fonte, assim como a velocidade do som é medida em relação ao ar em repouso, a velocidade da luz medida no referencial da Terra deveria ser realmente diferente de seu valor em relação ao éter. Assim, depois de mencionado o resultado negativo da experiência de Michelson-Morley, os estudantes podem começar a questionar se a luz é ou não análoga ao som.

O aparato experimental montado por Michelson para medir a diferença de tempo entre os dois feixes de luz foi baseado no fenômeno da interferência. O interferômetro deveria acusar essa diferença pela alteração no padrão de interferência após a rotação do conjunto. Dessa forma, a análise deste aparato também permite reforçar o entendimento deste fenômeno pelos estudantes.

Discussões epistemológicas

Por se tratar de uma experiência, cujo resultado contrastava com a então hegemônica Mecânica Clássica, este episódio é muito interessante para promover discussões epistemológicas e buscar as visões de Ciência dos estudantes. As diversas reações da comunidade científica e suas diferentes interpretações para o resultado negativo expressam bem o comportamento desta comunidade diante de uma incompatibilidade entre expectativas teóricas e resultados experimentais. A relevância do componente experimental da Física também fica evidente nesse caso, quando se discute se a teoria da relatividade teria surgido deste resultado negativo ou se Einstein nem sabia dele quando a formulou. Dessa forma, além de envolver diversos conteúdos tradicionalmente lecionados no Ensino Médio, a menção à experiência de Michelson-Morley torna-se ainda mais interessante por propiciar debates relativos à epistemologia da Ciência.

ESTRATÉGIAS E RESULTADOS DE UMA INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA

Em um estudo recente (KARAM, 2005), elaboramos e analisamos uma seqüência didática que teve como objetivo abordar tópicos da Teoria da Relatividade Restrita com alunos do 1º ano do Ensino Médio. Segundo Holton (1969), a abordagem da experiência de Michelson-Morley se tornou *pedagogicamente irresistível* para o ensino da relatividade, porém, reforça uma concepção epistemológica empirista de ciência, a crença de que as teorias surgem dos resultados experimentais. De acordo com Köhnlein e Peduzzi (2005), essa concepção de ciência parece figurar entre as pré-concepções dos estudantes e o professor se prevaleceu da mesma como estratégia de ensino. Assim, devido ao apelo à concepção empirista dos estudantes e pela diversidade de fenômenos e discussões que ela possibilita, optamos por descrever o funcionamento, objetivo e o resultado da experiência de Michelson-Morley durante duas aulas.

O estudo foi desenvolvido em duas etapas, uma primeira intervenção, denominada estudo piloto, foi realizada em uma turma de 1º ano de uma escola da rede particular de ensino da cidade de Florianópolis e uma segunda intervenção, denominada estudo final, foi realizada em outra turma de 1º ano da rede pública desta mesma cidade.

No estudo piloto, para que os estudantes pudessem compreender a experiência e seu objetivo, recorremos à situação análoga de travessia descrita anteriormente. Esquematizamos o interferômetro de Michelson no quadro e explicamos o funcionamento, oferecendo noções de interferência de ondas e reforçando a analogia com o exemplo do nadador. Em seguida, exibimos trechos de um vídeo do experimento de Michelson-Morley da série *O Universo Mecânico*, do Instituto de Tecnologia da Califórnia⁴ e discutimos os objetivos da experiência e as implicações do

⁴ Gravação obtida da exibição da Rede Cultura de Televisão.

seu insucesso. Neste caso, a utilização do vídeo teve a função de representar a experiência por animações.

A animação da experiência de Michelson-Morley, exibida no vídeo, certamente contribuiu para a sua visualização por parte dos alunos, o que provavelmente não surtiria o mesmo efeito, caso fossem utilizados recursos estáticos, como quadro-negro e transparências. A terceira questão de um teste realizado após o término da intervenção solicitava uma descrição dos objetivos e do funcionamento da experiência de Michelson-Morley. Alguns alunos demonstraram ter assimilado, mesmo que parcialmente, os seus principais fundamentos, como nas afirmações de A12: *O objetivo era provar que todo movimento era relativo em relação ao éter. A experiência falhou;* e de A18:

O principal objetivo da experiência era “mostrar” que a luz sofria interferência da velocidade da Terra, mas o objetivo não foi alcançado mesmo com a persistência dos dois. A experiência não deu certo pelo fato de que a luz não sofre interferência da velocidade da Terra, e por isso ficou famosa.

Outros estudantes a detalharam minuciosamente e com extrema coerência em suas explicações, como ilustra a colocação de A1:

O principal objetivo era provar que a Terra está em movimento em relação ao “éter” (sic). Isso não foi conseguido, pois a velocidade da luz não é relativa, não depende de um referencial. [...] um raio de luz é dividido em dois, uma dessas partes iria para cima e outra continuaria reto, esses raios bateriam num espelho, voltariam e se juntariam novamente e depois disso era “medido” (sic) essa junção. Eles queriam que um raio fosse mais devagar, pois a Terra está em movimento.

Desenhando um esquema da experiência, A17 relata:

Um feixe de luz era emitido de A, atingia o espelho B e seguia para duas direções, para o espelho C, e o prolongamento seguia para o espelho D. Como eles chegavam paralelos à normal, eles voltavam na mesma direção se encontrando novamente no espelho B e sendo refletidos ao ponto E. De acordo com as idéias dos físicos, como a Terra está em movimento, os feixes de luz iam em algum momento diferenciar a velocidade um do outro, se desencontrando no ponto E. Mas isso não ocorreu, então se detectou que a luz não altera sua velocidade.

Outro resultado interessante foi a presença de um desenho esquemático da experiência em um número expressivo de respostas. Acreditamos que isto esteja diretamente relacionado com a utilização do vídeo como recurso áudio-visual na aula sobre a discussão da mesma, conforme anteriormente mencionado enquanto elemento de motivação e demonstração.

No estudo final, conduzimos uma atividade semelhante à realizada no piloto, porém optamos por enfatizar a interpretação ondulatória da luz, apresentando o éter como meio necessário para a sua propagação e não conduzimos a dedução matemática da situação análoga. Fizemos também uma analogia com ondas sonoras, para evidenciar que a velocidade de uma onda, medida em relação à fonte, dependeria da velocidade da mesma. No episódio descrito a seguir, trecho recortado de uma das aulas do estudo final, um estudante sugere que a experiência de Michelson-Morley seja feita com o som e as diferenças entre este a luz passam a ser discutidas.

Episódio 1 – Analogia com o som

Legenda: P – o autor e professor

An – alunos

A9: *Não teria como fazer uma experiência semelhante a essa do Michelson só que com o som? Não seria mais fácil de medir?*

P: *Só que com o som não dá certo porque você consegue ir mais rápido do que o som..*

A9: *Mas que seria mais fácil de fazer seria.*

A2: *Um negócio que a gente estava discutindo é [...] se a luz sofreria influência do vento, em relação a um vento muito forte deslocar esse ponto de luz, esse fecho de luz, porque mexeria em alguma sombra de alguma coisa, né? Agora, o som sim, ele se propaga mais rápido a favor do vento do que contra o vento.*

P: *Sim, o som se propaga no ar mesmo.*

[...]

A2: *Eu digo isso porque eu moro aqui perto e num dia de vento norte forte a gente escuta a sirene do colégio tocar, e num dia de vento sul forte, não se ouve, quer dizer, o som não atinge a nossa casa.*

P: *É verdade...*

A2: *O som se propaga como vibração, ele mexe nas partículas de ar, já a luz não, ela não depende das partículas.*

A9 percebe que, como a velocidade do som é muito inferior à da luz, a diferença entre os intervalos de tempo, medida da experiência de Michelson, seria mais facilmente observada se a mesma fosse realizada com o som. A exposição de A2, manifestando a constatação de um fenômeno presente em seu cotidiano, permite uma discussão mais detalhada sobre as diferenças entre o som e a luz. No ensino de Física, a Ondulatória é normalmente abordada durante o segundo ano do Ensino Médio, o que nos fez refletir sobre a participação dos estudantes nessa discussão. Entretanto, o relato desse episódio evidencia que as principais diferenças entre som e luz também podem ser tratadas no primeiro ano e emergem da Relatividade Restrita. Remete-nos também à relação custo-benefício, atribuída pelas propostas construtivistas e suas respectivas críticas associadas às considerações sobre tempo despendido pela valorização da qualidade em detrimento da quantidade de conceitos ensinados em uma determinada série e grau de ensino (MORTIMER, 1996).

De uma maneira geral, as respostas dadas à terceira questão do teste realizado após o estudo final (a qual se destinava a perceber a compreensão do objetivo e interpretação do resultado da experiência de Michelson-Morley) evidenciaram um resultado aquém do obtido no estudo piloto. Apesar de respostas como as de A2 - *Esta experiência foi feita para tentar provar a existência do éter. Criaram um interferômetro que acusaria se houvesse mudança na velocidade da luz em duas situações, horizontal e vertical. Durante anos de testes não conseguiram atingir seu objetivo. A luz não muda sua velocidade* e a de A4: *A experiência queria provar a existência do éter, usando espelhos e um feixe de luz, mas o objetivo não foi atingido, pois a velocidade da luz é a mesma para todos* - demonstrarem uma compreensão adequada do objetivo e interpretação de seu resultado negativo, sete estudantes não mostraram compreensão alguma e muitos afirmaram, simplesmente, que ela tinha o objetivo de detectar o éter, mas que o mesmo não fora atingido, sem mencionar nada mais. Acreditamos que esse resultado possa estar relacionado com a não-realização do tratamento matemático da experiência, estratégia que, apesar do alto grau de abstração envolvido, foi utilizada e bem sucedida no estudo piloto. Possivelmente, o mais interessante seria partir de um exemplo numérico da situação análoga e posteriormente associá-la ao experimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tradicionalmente, a experiência de Michelson-Morley é mencionada logo no início do ensino de Relatividade Restrita em nível superior. Segundo Holton (1969) isto ocorre principalmente porque os livros texto de ciência dão extremo valor ao raciocínio indutivista, pois *um estudante tende a aceitar mais facilmente uma teoria tão contraintuitiva como de Einstein se puder ser evidenciado que Einstein, ou pelo menos seus colaboradores, se convenceram de sua validade a partir de um experimento bem definido* (HOLTON, 1969, p.974) e também porque sendo esta uma das experiências mais sensíveis concebidas em toda a história, tem-se no ensino da Relatividade uma oportunidade de mencionar tamanho feito da física experimental

Quando nos propusemos a ensinar tópicos da Relatividade Restrita no início do Ensino Médio, questionávamos sobre a necessidade, as vantagens e as limitações de se mencionar a mesma para este nível. Entretanto, após a aplicação de duas intervenções de ensino, pudemos perceber que a abordagem da experiência de Michelson-Morley é muito vantajosa do ponto de vista didático, pois além de envolver diversos conteúdos de Física Clássica, como composição de movimentos, princípio da relatividade, efeito Doppler, interferência, diferenças entre luz e som e óptica geométrica, sua menção ainda permite discutir a visão de ciência dos alunos. Dessa forma, a partir dos resultados obtidos neste trabalho, julgamos que a abordagem desta famosa experiência da história da Física é recomendável para o Ensino Médio, uma vez que se pretende valorizar os aspectos conceituais desta disciplina e evidenciar aos estudantes que a mesma é uma construção humana.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, B. e MÁXIMO, A. **Curso de Física**. Vol. 1, São Paulo: Scipione, 2000.
- CHAPMAN, B. R. Special Relativity and the Michelson-Morley Experiment. *Physics Education*, v. **14**, p. 217-220, 1979.
- GASPAR, A. **Física**. Volume 1. São Paulo: Ática, 2000.
- HOLTON, G. Einstein and the Crucial Experiment. *American Journal of Physics*, v. **37**, n. 10, p. 968-982, 1969.
- KARAM, R. A. S. *Relatividade Restrita no Início do Ensino Médio: Elaboração e Análise de uma Proposta* 2005 Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina.
- KARAM, R. A. S.; SOUZA CRUZ, S. M. S. C. e COIMBRA, D. A Abordagem das relatividades em sala de aula, in X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina, 2006. Disponível em < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/x/sys/resumos/T0084-1.pdf> >. Acesso em 8 de outubro de 2006.
- KÖHNLEIN, J. F. K. e PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no Ensino Médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* v. **22**, n.1, p.36-70, 2005.
- MORTIMER, E. F. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências* v. **1**, n. 1, IFURGS, Porto Alegre, 1996. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/public/ensino/N1/2artigo.htm>. Acesso em 16 de fevereiro de 2006.
- PAIS, A. “Sutil é o Senhor...”: a ciência e a vida de Albert Einstein. Trad. Fernando Parente e Viriato Esteves. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
- RESNICK, R. Overcoming Constraints and Problems. *Proceedings of the Conference on the Teaching of Modern Physics held at the Fermi National Accelerator Laboratory*, American Association of Physics Teachers, 1987.
- TERRAZZAN, E. A. *Perspectivas para a inserção de física moderna na Escola Média*. São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Educação – USP, 1994. Tese de doutorado.