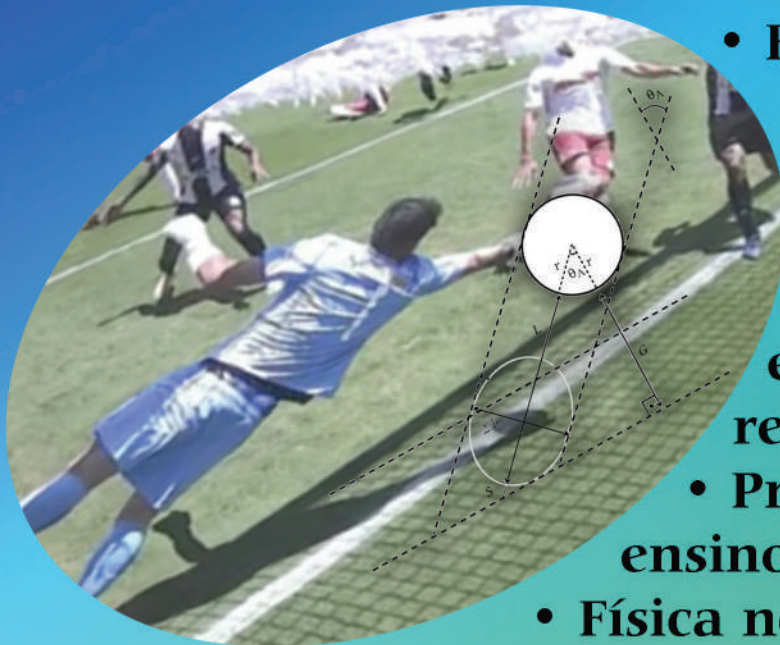


v.15
Maio

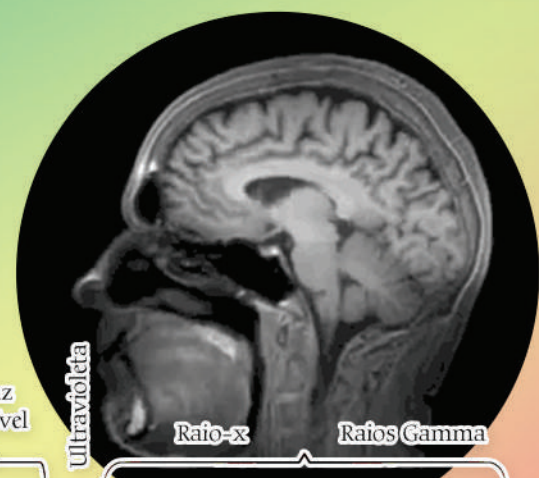
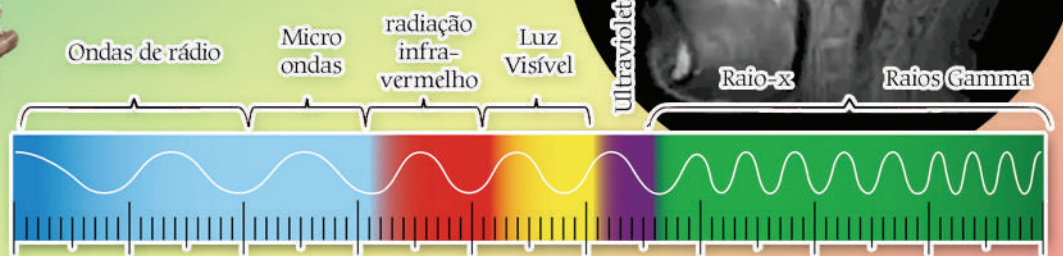
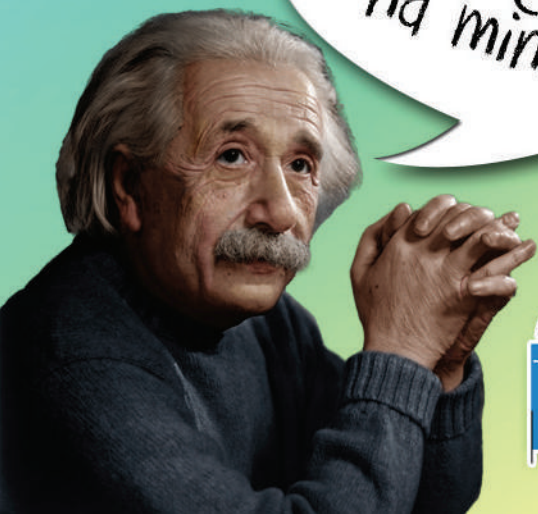
n.1
2017

a Física na Escola



- Futebol, astronomia e matemática
 - Óptica na arte e receitas de bolo
 - Relevância dos experimentos na relatividade restrita
- Previsão do tempo no ensino de ciências
- Física nos aparelhos de diagnóstico médico

Dados experimentais na minha teoria?



Carta do Editor

Evidências históricas indicam que o **experimento “crucial” de Michelson-Morley** contribuiu mais para a aceitação da teoria da relatividade restrita de Einstein do que para sua gênese. Contudo, muitos físicos e filósofos eminentes e a maioria esmagadora dos textos didáticos atribuem uma ligação genética entre o experimento e a teoria da relatividade. Gerald Holton atribui esse fato a uma certa doutrina do “experimentalismo” que prega que a construção de uma teoria deve estar atrelada a evidências experimentais. Damásio e Peduzzi analisam a questão a partir de depoimentos do próprio Einstein e tecem considerações pertinentes sobre a natureza da ciência na visão do epistemólogo Feyerabend.

Foi gol? Marcelo Schappo usa a astronomia e a óptica geométrica para elucidar o lance polêmico do gol do glorioso time da Vila contra o RB Brasil pelo campeonato paulista deste ano, dando consistência científica à conclusão do crítico Arnaldo de Sousa (<https://goo.gl/E4LdfB>) que, baseado nas sombras do travessão e da bola, concluiu que essa entrou (felizmente!). A análise virou uma situação-problema trabalhada com sucesso em sala de aula.

A **previsão do tempo**, já incorporada definitivamente nas mídias brasileiras, envolvem essencialmente a aplicação de princípios da física complementados por técnicas empíricas, estatísticas e computacionais. No entanto, a física do tempo e do clima está ausente dos nossos textos didáticos. Nada justifica que os fenômenos meteorológicos e climáticos e modelos usados para descrevê-los não sejam abordados na sala de aula. O artigo de Aline Biscaino propõe explorar as potencialidades de uso desse conteúdo no ensino de ciências em um contexto multidisciplinar.

Este número traz **interessantes abordagens da óptica** que podem ser levadas à sala de aula. Desde a discussão da possível utilização de instrumentos ópticos na produção de pinturas a **efeitos de polarização óptica** observados em receitas simples. Marlon Alcântara, Marco Braga e Márcio Costa relatam uma atividade realizada no contexto do Projeto de Ciência e Arte, do Rio

de Janeiro, que discute o provável **uso de técnicas baseadas em aparatos ópticos** em quadros famosos. O artigo de Alexandre Campos, Wellington de Sousa e Tadeu Souza descreve a aplicação de uma sequência de ensino tratando da **interação entre luzes e pigmentos**. Embora o tema da cor-luz versus cor-pigmento já tenha sido contemplado (FnE, v. 9, n. 2, 2008), o processo investigativo desenvolvido em três atividades merece ser avaliado. Outro artigo de David Araujo e outros relata a aplicação de **ilusões de óptica relacionadas à reflexão e à refração**. Nenhuma novidade quanto ao assunto, mas sua aplicação com várias atividades experimentais constitui uma boa experiência a ser replicada. E para fechar o bloco de óptica, a **polarização da luz** é tema de artigo que traz receitas doces e coloridas que o leitor pode fazer por si próprio para observar efeitos provocados pela luz polarizada.

Uma sequência de ensino e aprendizagem é proposta por Parisoto, Moreira e Almeida para **ensinar eletromagnetismo, ondas e física contemporânea a partir dos equipamentos tecnológicos usados na medicina** para diagnóstico e tratamento de doenças. O uso de aparatos médicos corriqueiros para ensinar conceitos e fenômenos físicos é outro tema pouco presente no currículo e na sala de aula de nossas escolas e, portanto, esse artigo mostra-se bastante relevante para o ensino da chamada física no cotidiano.

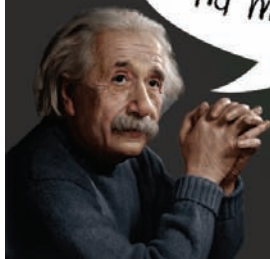
Cuzinato e outros retomam projetos voltados para a construção e compreensão da **física dos foguetes de água** (FnE, v. 8, n. 2, 2007). Além de instrutivas, as atividades com foguetes são motivadoras e divertidas, congraçando estudantes na aprendizagem dos conceitos da mecânica.

E ao final o leitor pode visitar um supermercado fictício para **escolher, discutir e comparar grandezas** em uma atividade investigativa dentro do tema “unidades de medidas” realizada em várias escolas.

Boa leitura.

Nelson Studart

Afinal, Einstein usou ou não dados experimentais para propor sua relatividade restrita? Com a palavra, ele mesmo



Dados experimentais na minha teoria?

.....
Felipe Damasio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil
E-mail: felipedamasio@ufsc.edu.br

.....
Luiz O.Q. Peduzzi

Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: luiz.peduzzi@ufsc.br
.....

Introdução

Chalmers [1] afirma que a explicação indutivista ingênua da ciência se aproxima de sua imagem popular: objetiva, confiável, derivada da experiência por observação e experimentos. Para um indutivista ingênuo, a ciência sempre começa com a experimentação (empirismo) e, a partir de um grande número de observações, em uma ampla variedade de condições, induz-se um padrão (indutivismo); tem-se, assim, uma lei ou teoria científica. O raciocínio indutivo “nos leva de uma lista finita de afirmações singulares para a justificação de uma afirmação universal” [1, p. 26]. Como exemplo de história empírico-indutivista, costumam-se citar os resultados negativos de Michelson-Morley como fundamentais para o trabalho de Einstein ao propor os princípios da teoria da relatividade restrita. Ao mostrar que a hipótese de existência do éter era falsa e que, portanto, não existia um sistema de referência absoluto, esses dados experimentais teriam sido fundamentais para a gênese da teoria da relatividade restrita publicada por Einstein em 1905 [2].

O presente artigo aborda um ponto de vista que defende a inconsistência da visão empírico-indutivista no surgimento da teoria da relatividade restrita. Para tanto, vale-se de material original de Einstein, por meio de entrevistas, falas públicas, sua autobiografia, textos de divulgação de suas teorias e do artigo que apresentou a relatividade restrita de Einstein em 1905. Este trabalho, essencialmente, objetiva servir de material de apoio a uma discussão explícita de história e epistemologia da ciência em sala de aula, visando afastar certas opiniões problemá-

ticas do fazer ciência, em particular, a imagem empírico-indutivista da ciência. Para isso, usa-se como aporte teórico a filosofia da ciência relativista¹ do epistemólogo austríaco Paul K. Feyerabend para considerações epistemológicas.

Uma história recontada

Diversos autores contextualizam abrangentemente as origens históricas do surgimento da relatividade restrita na literatura disponível em português [3-7]. A gênese da teoria tem sido tema de diferentes interpretações entre diversos cientistas, filósofos e historiadores da ciência.

A amplamente difundida concepção empírico-indutivista da ciência concebe, fundamentalmente, a teoria da relatividade restrita como uma resposta objetiva e correta ao experimento reali-

Apesar de se poder questionar a sua importância para a gênese da relatividade restrita, o experimento de Michelson pode ser colocado entre os mais relevantes da história da ciência

zado pelos físicos estadunidenses Albert A. Michelson (1852-1931) e Edward W. Morley (1838-1923) em 1887 [7].

Apesar de se poder questionar a sua importância para a gênese da relatividade restrita, o experimento de Michelson pode ser colocado entre os mais relevantes da história da ciência. O interferômetro foi “inventado quando Michelson tinha vinte e oito anos em resposta a um desafio de Maxwell” [8, p. 135]. Tanto antes como depois dos experimentos de Michelson, houve outras tentativas de medir a velocidade da Terra em relação ao éter. Ainda, durante a realização dos experimentos de Michelson havia teorias sobre o éter muito bem estruturadas sob o ponto de vista teórico, bem como sob o ponto de vista experimental [9].

O conceito de éter permeava dois campos da física no final do Século XIX, o eletromagnetismo e a óptica - unificados pela teoria proposta por James Clerk Max-

O texto investiga a amplamente difundida ideia empirista de que os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley, de detectar o movimento da Terra em relação ao éter, fundamentaram o trabalho de Einstein ao propor sua teoria da relatividade restrita. Para tanto, usam-se entrevistas, falas públicas e a autobiografia do próprio Einstein em que ele aborda explicitamente a questão. Além disso, procura-se fazer colocações de cunho epistemológico explícito de pontos relevantes do episódio, procurando desconstruir o modelo empírico sobre a gênese da relatividade restrita e vislumbrar as possíveis implicações dessas questões na educação científica.

well (1831-1879). Segundo as previsões da teoria, o movimento da Terra através do éter poderia ser detectado por meio de experimentos ópticos ou elétricos. A detecção experimental do éter tornou-se imprescindível na física da segunda metade do Século XIX. A determinação empírica foi alvo de muitas investigações, sempre tendo resultados nulos. Nem mesmo os experimentos pioneiros de Michelson em 1881, tampouco o que foi aperfeiçoado por ele e Morley em 1887, deram indício de qualquer ‘vento do éter’ [7].

Maxwell foi fortemente influenciado pelo trabalho de Michael Faraday (1791-1867), que em meados do Século XIX defendeu que as forças eletromagnéticas são transmitidas por linhas de força que têm realidade física. Ao contrário de Faraday, que se concentrou nas linhas de força, Maxwell voltou-se à ideia da substância que preenchia o espaço, o éter [4]. Como ressalta Peduzzi [7], grande parte dos cientistas acreditava que a luz era uma onda que se propagava no éter. Após Maxwell identificar a luz como um fenômeno eletromagnético era crível admitir que as ondas eletromagnéticas deveriam envolver a vibração desse meio.

A versão popularizada que afirma que os físicos acreditavam na teoria do éter por pura especulação é completamente equivocada. Havia argumentos teóricos fortes que indicavam a possibilidade de medir a velocidade da Terra por meio de experimentos ópticos. O histórico das tentativas de medir a velocidade da Terra em relação ao éter é muito mais rico do que quando se a associa apenas aos experimentos de Michelson e Michelson-Morley [10]. O desenvolvimento do interferômetro de Michelson, por exemplo, foi muito influenciado pelo instrumento criado por J. Jamin [7].

Dentre os experimentos precedentes aos de Michelson está o de François Jean Dominique Arago, de 1809. O seu resultado negativo levou Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) a escrever um artigo, a pedido do próprio Arago, que culminou no desenvolvimento de uma teoria detalhada da relação entre os corpos transparentes e o éter luminífero - sobre a qual repousam as bases de uma óptica dos corpos em movimento. Em 1845, George Gabriel Stokes (1819-1903) propôs uma nova teoria do éter. Nela o éter seria um material viscoso que aderiria à superfície dos corpos, sendo quase que totalmente arrastado pela Terra, ficando em repouso

em relação a ela próximo ao solo. Tal teoria explicava os resultados negativos de experimentos como o de Arago e era compatível com todos os fenômenos conhecidos [10].

Em 1851, Armand H.L. Fizeau (1819-1896) realizou um experimento com o objetivo de testar a teoria de Fresnel, através da medição do efeito de arrastamento da luz em um meio transparente. O resultado trouxe uma relevante corroboração da teoria de Fresnel [11]. Logo, o éter parecia existir e se comportar de acordo com as teorias bem estabelecidas. Fizeau procurou encontrar outros experimentos para medir os efeitos da velocidade da Terra em relação ao éter. Em 1859, afirmou ter constatado resultados positivos. Seguiu-se uma série de delicados experimentos que davam boas indicações para acreditar na teoria do éter de Fresnel nas primeiras décadas da segunda metade do Século XIX. Se existissem “experimentos cruciais”, a teoria de Fresnel teria sido “provada” pelo experimento de Fizeau. Esse era o contexto quando Michelson iniciou seus estudos acerca do éter [10].

Peduzzi [7] faz uma descrição detalhada do experimento de Michelson. Resumidamente, a versão do interferômetro de Michelson (Fig. 1) possui dois braços horizontais de mesmo comprimento por onde feixes de luz vindos de uma mesma fonte se movimentam pela mesma distância de forma perpendicular, sendo refletidos e voltando ao mesmo ponto.

Para detectar o ‘vento do éter’ seria necessário medir a diferença de tempo entre o percurso dos dois feixes por meio das franjas de interferência. No experimento de 1881 os braços do interferômetro tinham 120 cm e Michelson sempre se mostrava frustrado por não ter conseguido detectar as franjas esperadas teoricamente.

Em 1884, ao proferir palestras nos Estados Unidos, Lord Kelvin incitou Michelson a realizar novos experimentos com o interferômetro. Durante os mes-

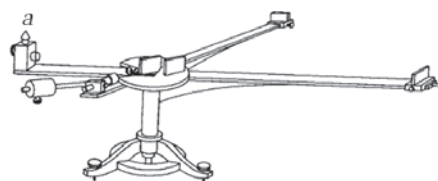


Figura 1: Interferômetro de 1881 [12].

O éter parecia existir e se comportar de acordo com as teorias bem estabelecidas

mos eventos houve uma aproximação entre Michelson e Morley. O trabalho fruto da colaboração destes dois cientistas não é uma repetição ou variação do original de 1881. No experimento realizado em 1887, a dificuldade no original de girar o aparelho foi resolvida montando o instrumento sobre um flutuador anular de madeira sustentado por mercúrio líquido. Também alteraram o caminho seguido pelos feixes, dos 120 cm originais para 1100 cm ao submeterem-nos a várias

reflexões em espelhos situados nos braços do aparelho (Fig. 2). Dessa forma, a magnitude do padrão de

interferência no experimento de 1887 era dez vezes maior que no original, mas novamente os resultados não foram os previstos. Apesar disso, a certeza de Michelson da existência do éter nunca foi abalada [7].

A importância do trabalho de Michelson, para alguns autores, não se limita à questão envolvendo o movimento da Terra em meio ao éter - afirmam que teve papel fundamental para o desenvolvimento da relatividade restrita de Einstein. Filósofos da ciência como Hans Reichenbach e Gaston Bachelard alinham-se à visão empirista para a gênese da teoria da relatividade restrita. Reichenbach foi um dos mais persistentes analistas filosóficos das implicações epistemológicas da relatividade. Para o autor, não resta dúvida de que Einstein construiu sua teoria fundamentado em uma confiança extraordinária em dados experimentais [14]. Os únicos experimentos citados na análise são os de Michelson. Gaston Bachelard é ainda mais efusivo em relação à origem empírica da relatividade: “Como sabemos, como tem sido repetido mil vezes, a relatividade nasceu de um choque epistemológico; nasceu do ‘fracasso’ da experiência de Michelson” [15, p. 566].

Muitos livros didáticos reforçam a relevância do trabalho de Michelson para a gênese da teoria da relatividade restrita - inclusive, livros aprovados no PNLDEM 2012. Por exemplo, em [16, p. 313] lê-se

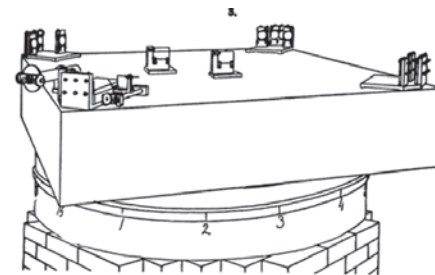


Figura 2: Experimento de 1887 [13].

que: “É preciso acrescentar que, para elaborar a teoria da relatividade, Einstein contou não só com a sua grande genialidade, mas com trabalhos de outros físicos, como os norte-americanos Albert A. Michelson (1852–1931) e E.W. Morley (1839–1923), e o holandês H.A. Lorentz (1853–1928)”.

Apesar de negar por várias vezes que os resultados dos experimentos de Michelson-Morley tenham pautado o desenvolvimento da relatividade restrita, Einstein reconhecia sua importância em outra instância. É bem provável, como o próprio cientista alemão admitiu, que sem o trabalho de Michelson os físicos não teriam aceitado a relatividade restrita e considerariam abandoná-la. Percebe-se então a importância do experimento no convencimento da comunidade, na aceitação dos pares, que é uma das mais importantes etapas do estabelecimento de uma teoria científica.

Para Feyerabend, há circunstâncias em que a argumentação perde importância, inclusive durante o desenvolvimento científico. Os argumentos, para o epistemólogo, só têm utilidade depois de algum convencimento prévio das pessoas que são argumentadas e que argumentam. Assim, as velhas formas de argumentação mostram-se demasiadamente fracas antes deste convencimento dos envolvidos. Nestes casos, outras formas de persuasão são necessárias, como a propaganda e a coerção. Para Feyerabend, aquilo que parece a voz da razão (argumentos e contra-argumentos) não passa de efeito casual subsequente deste processo de persuasão em que “interesses, forças, propaganda e técnicas de lavagem cerebral desempenham, no desenvolvimento de nosso conhecimento e no desenvolvimento da ciência, um papel muito maior que geralmente se acredita” [17, p. 40].

As ideias de Feyerabend parecem ganhar força quando se percebe, segundo a própria análise de Einstein, que o convencimento dos pares da ciência sobre a pertinência da teoria não se deveu apenas a aspectos próprios dela, como sua coerência e consistência interna. Para a comunidade não ter abandonado a teoria, outros fatores, como os dados experimentais de Michelson-Morley, que não eram oriundos da sua construção teórica, foram úteis. Normalmente, apenas argumentos oriundos da própria teoria não são suficientes para uma teoria “pegar”, como ocorreu com a relatividade restrita.

Com a palavra, Einstein

O artigo de 1905

No início do Século XX, haviam sido malsucedidas todas as tentativas de explicar os campos eletromagnéticos em termos mecânicos. Físicos como Max Abraham procuravam uma visão eletromagnética de mundo em detrimento da

visão mecânica. Einstein, no entanto, estava convencido de que nem a mecânica nem o eletromagnetismo poderiam sobreviver intactos; ambos teriam que ser modifica-

cados ao levar em conta os novos avanços da Física [18].

O trabalho em que Einstein apresenta sua teoria da relatividade restrita foi publicado em 1905 no periódico *Annalen der Physik*. O artigo com o título *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Fig. 3) (*Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*) fez parte do que ficou conhecido como *annus mirabilis* de Einstein, pois nesse ano Einstein publicou outros artigos de relevância. O objetivo do trabalho foi, a partir da eletrodinâmica de Maxwell para corpos em repouso, fornecer uma eletrodinâmica para corpos em movimento, como fica claro desde a primeira frase: “Sabe-se que a eletrodinâmica de Maxwell, como geralmente entendida no tempo presente, quando aplicada a corpos em movimento, leva a assimetrias que não parecem ser inerentes aos fenômenos”.

A relatividade do movimento levava a assimetrias que Einstein conhecia de seus estudos sobre a teoria de Maxwell [3]. De acordo com o ‘princípio da relatividade’ formulado por Poincaré, os fenômenos físicos devem ser os mesmos para observadores fixos ou transportados em movimento uniforme. Vários pesquisadores tentaram conciliar a teoria eletromagnética com o princípio da relatividade, já que o eletromagnetismo de Maxwell parecia estar em desacordo com tal princípio. O resultado dessas pesquisas é o que chamamos hoje de teoria da relatividade restrita. Sua construção, em grande parte, ocorreu antes do artigo original de Einstein de 1905 [6].

A criação de uma teoria onde todos os processos físicos fossem equivalentes em quaisquer referenciais em movimento relativo era um problema que ocupava

Para Feyerabend, aquilo que parece a voz da razão (argumentos e contra-argumentos) não passa de efeito casual subsequente deste processo de persuasão

É bem provável, como o próprio Einstein admitiu, que sem o trabalho de Michelson os físicos não teriam aceitado a relatividade restrita e considerariam abandoná-la

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafte scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Figura 3: Artigo original, em alemão, de Einstein.

grandes cientistas no final do Século XIX e início do Século XX. Em particular, a questão de quais mudanças nas manifestações eletromagnéticas ou ópticas poderiam ser medidas em sistemas inerciais que se movem uns em relação aos outros era uma questão que ocupava Einstein. Já havia teorias que eram convincentes nesse sentido antes do trabalho de Einstein. Durante a década de 1880, por exemplo, Lorentz já havia desenvolvido sua teoria. Apesar de Einstein conhecer muito bem o trabalho de Lorentz quando desenvolveu sua relatividade restrita, publicada em 1905, ela não o satisfazia, talvez por sua complexidade [19].

É preciso ressaltar que, apesar de grande parte da relatividade restrita ter sido desenvolvida antes de Einstein, há três novidades fundamentais em seu trabalho publicado em 1905: (i) a estruturação da teoria de maneira muito mais simples do que Lorentz e Poincaré ao deduzir a cinemática relativística a partir de dois postulados; (ii) propor a equação $E = mc^2$ como uma relação geral da teoria ao sugerir que fosse aplicável em todos os casos e (iii) tornar supérflua a introdução do éter [4].

Einstein não apontou desde o início de seu artigo de 1905 nenhum descontentamento entre teorias e fatos estabelecidos. Ele até se refere a algumas observações, mas todas longamente conhecidas e compreendidas. Como Holton [8] chama a atenção, o mesmo

comportamento foi adotado por Copérnico, Galileu (no *Diálogo*) e Newton — nenhum deles se fundamentou em fatos experimentais recentemente disponíveis, mas mesmo assim suas propostas explicavam dados empíricos que as teorias

anteriores não conseguiam. Em nenhum momento, durante o texto, Einstein dá a entender que sua proposta é feita para tentar salvar algum fenômeno. Em nenhum local do artigo pode-se perceber algum indicativo que tenha considerado a experiência de Michelson como crucial ou mesmo essencial para sua proposta – nem mesmo se ele sabia de sua existência.

Por mais de uma vez durante o artigo,

Einstein teve oportunidade de citar o experimento de Michelson, caso ele tivesse tido alguma influência. A primeira foi logo após descrever detalhes do caso do experimento de corrente induzida com condutores e ímãs: “tentativas frustradas de descobrir qualquer movimento da terra relativamente à ‘forma de luz’, sugerem que os fenômenos da eletrodinâmica, bem como da mecânica, não possuem propriedade correspondente à ideia de repouso absoluto”. Nem o experimento de Michelson, tampouco qualquer outro experimento do suposto movimento da Terra no éter, é citado pelo nome. Mesmo tendo sido feita referência a eles, não parecem desempenhar papel crucial na argumentação.

Como analisa Martins [20], quase todos os resultados do artigo de 1905 obtidos por Einstein já haviam sido alcançados antes por Lorentz e Poincaré. No entanto, havia uma importante diferença; enquanto os antecessores de Einstein aceitavam a existência do éter, ele negou essa hipótese. Já quase no final da introdução do artigo, Einstein teve outra oportunidade de citar o experimento de Michelson ao afirmar que a introdução de um éter luminoso era supérflua, pois sua argumentação não exigia um espaço absolutamente estacionário com propriedades especiais. As equações de transformação de Lorentz derivam dos postulados e guiam a transformação das equações de Maxwell-Hertz para todos os fenômenos eletrodinâmicos. Velhos fenômenos ópticos conhecidos devido ao movimento da Terra decorrem dessa nova abordagem, mesmo anteriores aos experimentos de Michelson, como o efeito Doppler relativista. Em nenhum momento Einstein indica uma reinterpretação dos resultados negativos de Michelson-Morley. Algumas frases, inclusive, mostram uma falta de preocupação com detalhes complicados da física experimental, ou mesmo falta de tempo e interesse em entrar em detalhes sobre estas experiências. Dessa forma, Einstein renuncia uma segunda vez à oportunidade de citar os experimentos de Michelson, se eles

Algumas frases de Einstein no artigo de 1905 mostram uma falta de preocupação com detalhes complicados da física experimental, ou mesmo falta de interesse

tivessem tido influência na gênese de sua proposta [8].

Vários outros pontos do artigo de Einstein indicam uma despreocupação com resultados empíricos para a construção da teoria da relatividade restrita. Por exemplo, quando Einstein descreve os dois postulados que são a base do trabalho ele não se refere a qualquer conjunto de dados experimentais ou mesmo alguma

experiência bem conhecida. Em alguns casos, o autor descreve que suas propostas estão de acordo com experiências estabelecidas. Apesar disso, quando as equações que podem explicar experimentos clássicos, como a de Fizeau, da teoria do arrasto do éter, são desenvolvidas, elas não são explicitamente vinculadas a esses experimentos.

Einstein aceitava como premissa para a reformulação da eletrodinâmica as reformas nos conceitos de espaço e tempo. Ele irá deixar claro, em sua autobiografia, que não entendia como

dever de uma teoria ser construída a partir de fatos empíricos, apenas, segundo o cientista, não pode entrar em conflitos com resultados experimentais bem estabelecidos.

De acordo com Martins [20], não se coloca em dúvida que Einstein sabia da existência de experimentos infrutíferos que pretendiam detectar o movimento da Terra em relação ao éter. No entanto, não há nada no artigo original de 1905 que deixe claro, ou mesmo indique, que Einstein considerou os experimentos de Michelson durante a formulação da proposta da teoria da relatividade restrita, ou até mesmo que ele conhecia seus resultados durante a construção de seu argumento. Segundo Arruda e Villani [3], as contribuições de Einstein em 1905 devem ser vistas como uma tentativa de unificação da Física. O trabalho teve como objetivo reformular a teoria eletromagnética de Maxwell, não teorizar resultados empíricos. Ele buscava uma perfeição teórica interna, procu-

rando uma estética que os cientistas não tinham ainda levado a termos empíricos.

Parece claro que Einstein tinha uma inquietação causada por paixão a uma simetria. A partir desse seu anseio, ele desenvolveu sua teoria que, ao final de todo o processo, pode parecer racionalmente construída. Isso não é uma exceção, segundo Feyerabend, mas algo recorrente na história da ciência: as teorias só parecem razoáveis, claras e aceitáveis quando partes internas incoerentes foram usadas por um tempo. “Esse prelúdio desarrazoado, insensato e sem método revela-se, assim, ser uma condição inevitável de clareza e de êxito empírico” [17, p. 41].

Notas autobiográficas

As *Notas Autobiográficas* [21] foram escritas em 1946 e publicadas originalmente em 1949 (Fig. 4). No livro há fortes indícios que o jovem estudante Albert Einstein tinha convicções empiristas, o

que não poderia ser diferente em um cenário de uma ciência que se desenvolve à luz do empirismo lógico. No entanto, o cientista escreve que pouco depois de 1900, após conhecer o trabalho de

Quase todos os resultados do artigo de 1905 obtidos por Einstein já haviam sido alcançados antes, no entanto, havia uma importante diferença; Einstein negou a hipótese do éter

Planck, teve o convencimento de que nem a mecânica, tampouco a eletrodinâmica, poderiam alegar validade exata.

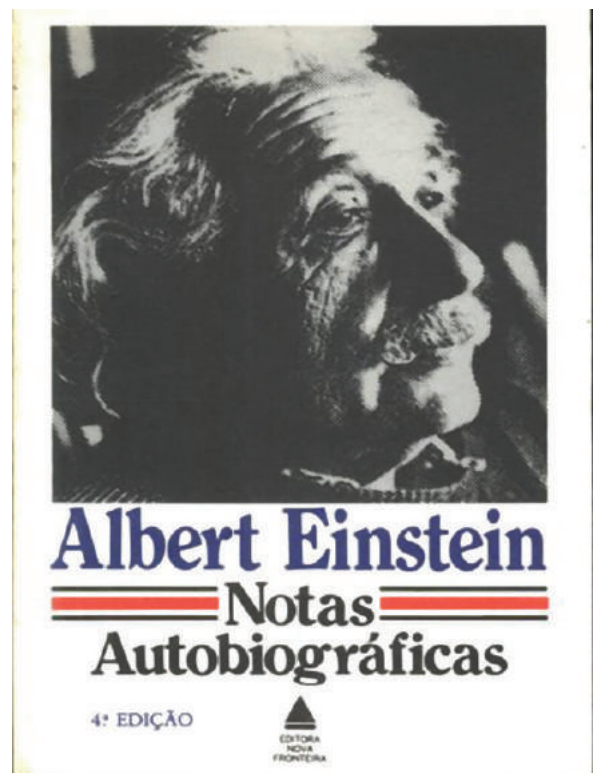


Figura 4: Capa da autobiografia de Einstein.

Nem sempre Einstein negou o éter, como quando introduziu a sua relatividade restrita. Quando ainda era estudante, em torno de 1897-98, ele inclusive planejou construir artefatos experimentais para medir a velocidade da Terra em relação ao meio. Em cartas a Mileva Maric e Marcel Grossmann é possível ter indicativos de que ele acreditava na existência do éter até pelo menos 1901 [22].

A crença no éter foi colocada de lado para o nascimento da relatividade restrita de Einstein. Em relação à gênese da teoria, Einstein aborda explicitamente esse assunto em sua autobiografia. “A teoria da relatividade especial tem a sua origem nas equações de Maxwell dos campos eletromagnéticos” [21, p. 63]. Também Einstein deixa bem claro que não foram dados empíricos que levaram à sua proposta, na talvez mais conhecida passagem das *Notas Autobiográficas* [21, p. 51-53]:

Einstein não provou a inexistência do éter, embora o tivesse rejeitado no desenvolvimento da sua relatividade restrita publicada em 1905

Aos poucos me desesperava da possibilidade de descobrir as verdadeiras leis por meio de esforços construtivos baseados em fatos conhecidos. Longa e desesperadamente eu tentei, mas cheguei à convicção de que só a descoberta de um princípio universal formal poderia levar a resultados seguros. [...] Após dez anos de reflexão resultou um paradoxo sobre o qual eu já tinha batido com a idade de dezesseis anos: Se eu tentar alcançar um feixe de luz com a velocidade c (velocidade da luz no vácuo), eu deveria observar tal feixe de luz como um campo eletromagnético oscilatório espacialmente em repouso? No entanto, não parece existir tal coisa, quer com base na experiência ou de acordo com as equações de Maxwell. [...]

Vê-se que neste paradoxo o germe da teoria da relatividade especial já está contido.

Em nenhum momento, em todo o seu *Notas Autobiográficas*, Einstein cita as experiências de Michelson ao escrever sobre as origens da teoria da relatividade restrita. Martins [6] ainda relata que para Einstein, inclusive, a sua relatividade restrita não obriga a

Apesar de Einstein ter deixado de lado inicialmente o conceito, ele o aperfeiçoou admitido até a existência de ‘um éter da relatividade geral’

negar a existência do éter. Sendo possível admitir sua existência “apenas desistindo de atribuir um estado definitivo de movimento” [23 *apud* 6]. Einstein não

provou a inexistência do éter, embora o tivesse descartado no desenvolvimento da sua relatividade restrita publicada em 1905.

Mais tarde, ao desenvolver a relatividade geral, Einstein parece se aproximar da validade do conceito de éter. Em uma conferência na Holanda em 1920 [24], chega a comparar “o éter da relatividade geral” com o éter de Lorentz, diferenciando-os por o primeiro depender das influências da matéria e energia em cada lugar, e para Lorentz o éter era igual em todos os pontos [6].

Para Feyerabend [17], um cientista tentará aperfeiçoar e não descartar concepções aparentemente vencidas.

Quando se analisa a relação do trabalho de Einstein com o conceito do éter, as asserções de Feyerabend parecem fazer mais sentido. Apesar de Einstein ter deixado de lado inicialmente o conceito, ele o aperfeiçoou no desenvolvimento de sua relatividade geral, admitindo até a existência de ‘um éter da relatividade geral’. Segundo Martins [6], Einstein aceitou inicialmente o princípio da relatividade e outras ideias de Poincaré, no entanto, rejeitou o éter por este não poder ser detectado e por considerá-lo puramente hipotético. Martins afirma que o retorno ao éter de Einstein demonstra que ele não tinha uma postura epistemológica rígida, utilizava a concepção que lhe fosse mais conveniente no momento.

Sendo assim, parece improvável que algum experimento com resultados negativos de detecção do éter possa ter papel decisivo na gênese da relatividade. O desenvolvimento da teoria não exclui a existência desse ente e mesmo Einstein não parecia convencido da inutilidade do conceito; apenas o considerou supérfluo no desenvolvimento de sua relatividade restrita. Além de tudo, o fato de Einstein ao desenvolver sua relatividade

geral se aproximar do conceito de éter dá indicativos de que ele não dava muita importância

à necessidade de provas empíricas no desenvolvimento das teorias, ao invocar um ente que muitos falharam em tentar detectar.

Entrevistas com R. S. Shankland, cartas e falas públicas

Em artigo publicado em 1963, R.S. Shankland relata entrevistas de Einstein realizadas por ele em Princeton (Fig. 5) entre 1950-54. As conversas tratam principalmente do trabalho de Michelson, particularmente o de Michelson-Morley e também dos experimentos de Miller.

No início do artigo, Shankland [25] deixa claro que o objetivo das entrevistas era “aprender com ele o que realmente achava sobre os experimentos de Michelson-Morley, e em que grau eles o tinham influenciado no desenvolvimento da teoria especial da relatividade”. A resposta de Einstein para a pergunta sobre quando havia conhecido os experimentos de Michelson foi que eles chamaram a sua atenção por meio do trabalho de Lorentz e só depois de 1905. Einstein ainda afirma que se os experimentos de Michelson tivessem relevância para ele antes de 1905, ele os teria citado no artigo. Ele continuou dizendo que os resultados experimentais que mais o influenciaram foram as observações sobre a aberração estelar e de Fizeau, e também as medições da velocidade da luz na água em movimento. “Eles eram o suficiente”, disse Einstein a Shankland.

É interessante também notar que Einstein acreditava que não existe caminho racional a seguir para a construção de uma teoria. Segundo Feyerabend, os racionalistas têm ânsia por uma sequência linearizada que leve a uma teoria cien-



Figura 5: Princeton University durante a década de 1950.

tífica. Einstein discordava, como deixou claro em entrevistas, segundo o relato de Shankland [25, p. 48]:

Isso o levou a comentar com algum pormenor sobre a natureza dos processos mentais, em que eles não aparecem como um movimento de passo a passo rumo a uma solução, enfatizando-os como uma rota tortuosa que nossas mentes tomam através de um problema.

Percebe-se que Einstein não está se referindo a caminhos não logicamente encadeados somente no contexto da descoberta, mas também no que Reichenbach chamou de contexto da justificativa. Feyerabend sugere superar a distinção entre contexto da descoberta e contexto da justificativa, que para o autor não desempenha nenhum papel na prática científica, e “tentativas de impô-lo teriam consequências desastrosas” [17, p. 207]. Para o epistemólogo, a prática científica não tem esses dois contextos. Ao contrário, ela é uma complexa mistura de procedimentos, que não permite traçar onde começa e termina o contexto da descoberta para iniciar-se o contexto da justificativa. Feyerabend vai ainda mais longe: se os cientistas tivessem sido obrigados a seguir as regras que os metodólogos exigem no contexto da justificativa, a ciência como a conhecemos não teria se desenvolvido. A prática científica, segundo o autor, é uniforme durante todo o processo de criação, desconstruindo a exigência racionalista dos dois contextos descritos por Reichenbach.

Em uma segunda entrevista, Shankland também questionou Einstein acerca do papel dos experimentos de Michelson na gênese da teoria da relatividade restrita [25, p. 55]:

Eu perguntei ao Professor Einstein quando ele ouviu pela primeira vez sobre o experimento de Michelson. Ele respondeu: “Isso não é tão fácil, eu não tenho certeza de quando ouvi pela primeira vez sobre a experiência de Michelson. Eu não estou consciente se ela me influenciou diretamente durante os sete anos que a relatividade foi minha vida. Acho que eu tinha como certo que seus

resultados eram verdade”.

Por meio da entrevista, parece claro que para Einstein, a atividade científica parece ter alguma ordem somente no final. Em seu percurso, o cientista segue caminhos que um racionalista iria descrever como não científicos. Einstein tinha várias convicções sobre o fazer ciência; como descrito por Shankland [25, p. 50]:

Quase todos os historiadores da ciência são filólogos e não compreendem o que os físicos estavam visando, como eles pensaram e lutaram com os seus problemas [...] Ele luta com os seus problemas, sua tentativa usando todos os meios possíveis para encontrar uma solução que vem, finalmente, muitas vezes, por meios indiretos.

Para Feyerabend, a ciência em desenvolvimento é o resultado de uma solução de contravérsias. A criação de uma teoria e a compreensão plena da ideia correta sobre ela são parte de um único processo indivisível - e não podem ser separadas para não interromper tal processo. Esse curso é guiado por um vago anseio, uma paixão, que “dá origem a um comportamento específico que cria as circunstâncias e as ideias necessárias para analisar e explicar o processo, para torná-lo ‘racional’” [17, p. 41].

Durante toda a entrevista, Einstein não esconde a admiração e respeito que tinha por Michelson, chegando a declarar que o amava. Nas conversas com Shankland parece claro

que os experimentos de Michelson só chamaram sua atenção depois de 1905, principalmente durante as discussões com Lorentz no desenvolvimento da relatividade geral. No entanto, os resultados dos experimentos de Michelson, e depois junto com Morley, eram perfeitamente compreendidos a partir da relatividade restrita.

O próprio Shankland publicou artigo [26] em que transcreve carta de Einstein escrita em 1952 para a Sociedade de Física de Cleveland, em homenagem ao centenário de Michelson. Nessa carta, além de tecer elogios a Michelson, chamando-o inclusive de artista da ciência, Einstein

reafirma que, caso o experimento de Michelson do vento do éter tivesse tido alguma influência, ela não foi relevante: “A influência do famoso experimento de Michelson-Morley sobre os meus próprios esforços [deliberações] foi bastante indireta”.

Na mesma carta, o único experimento citado como fundamental para a gênese da teoria da relatividade restrita foi a experiência de pensamento, de se buscar um feixe de luz com a velocidade c , descrita no artigo de 1905. Outros três experimentos são citados como mais importantes que o de Michelson-Morley para a relatividade, os que foram apresentados no trabalho de Lorentz de 1895. Tais evidências estão em consonância com outras a partir das entrevistas de Shankland, que permitem acreditar que o livro de Lorentz que Einstein provavelmente estudou e leu foi de 1895, além do artigo de 1892 publicado na França. Neles, Einstein encontrou o experimento de Michelson, sem, no entanto,

nenhum tratamento para ser considerado como um evento crucial sobre a qual uma nova física deveria ser construída. O experimento de Michelson era apenas uma das várias experiências descritas na obra.

Einstein escreveu a seu amigo Michele Besso para comentar a notícia que Dayton Miller havia anunciado resultados empíricos que anulavam o segundo postulado da relatividade restrita. Na carta a Besso Einstein afirma que: “Eu não o levei a sério por um minuto”. Essa resposta parece indicar o quanto para Einstein os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley não eram uma conclusão de uma análise empírica. Einstein acreditava nesses resultados por uma questão teórica que não parecia poder ser refutada por experimentos como os de Miller.

A primeira e única vez que Einstein encontrou Michelson foi na visita do cientista europeu a Pasadena em 1931. Apesar de Einstein admirar o trabalho de Michelson, este não apreciava a relatividade e seu papel na superação das teorias do éter. Ele tinha certeza de que suas experiências tinham tido papel central na gênese da relatividade restrita. Isso pode ser entendido nas entrevistas de Einstein a Shankland quando ele declarou que Michelson havia lhe dito que não gostava das teorias que se haviam seguido ao seu trabalho, que estava triste com o monstro que seu trabalho havia gerado.

os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley não eram uma conclusão de uma análise empírica, Einstein acreditava nestes resultados por uma questão teórica

A atividade científica parece ter alguma ordem somente no final. Em seu percurso, o cientista segue caminhos que um racionalista iria descrever como não científicos

Não haveria ocasião mais adequada para reconhecer a influência dos experimentos de Michelson para a elaboração da teoria da relatividade restrita que uma fala de Einstein com Michelson na plateia, como no evento de 1931 em Pasadena. O texto do discurso de Einstein na ocasião foi publicado em alemão em 1949 na revista *Science* (93, p. 544-545). Nele, Einstein declara que Michelson havia estimulado as ideias de Lorentz e FitzGerald a partir das quais a relatividade restrita foi desenvolvida.

Portanto, Einstein não traçou ligação genética entre a sua relatividade restrita e os experimentos de Michelson e de Michelson-Morley, nem quando teve uma ocasião propícia com Michelson na plateia de sua fala. Mas reconheceu que o trabalho de Michelson contribuiu para a construção da ciência que levou à relatividade. A importância que a fala de Einstein atribuiu aos resultados negativos de Michelson está na aceitação da relatividade pelos pares, não em sua construção.

Outro documento relevante para ser analisado é o registro das observações do cientista em 1931 ao *Physikalische Gesellschaft*, em Berlim. O evento foi em memória de Michelson, que faleceu em 9 de maio de 1931. Mais uma vez, Einstein não faz qualquer ligação genética entre os experimentos de Michelson e a relatividade restrita, e se limita a enfatizar a importância dos resultados negativos para a aceitação dos pares. Isso fica explícito em seu comentário: “Esse resultado negativo [da experiência de Michelson] grandemente avançou a crença na validade da teoria”.

Uma década mais tarde, em 1942, Einstein escreve uma carta resposta ao escritor B. Jaffe onde aborda novamente a questão [27]. Nela reafirma que a importância do trabalho de Michelson sobre sua relatividade restrita foi de reforçar a convicção da validade dos seus princípios, que foram desenvolvidos antes de ele saber dos resultados dos trabalhos de Michelson. Novamente Einstein reafirma que o papel relevante dos experimentos para a relatividade foi no sentido de ajudar a convencer a comunidade de sua validade.

Uma última carta que será analisada é a de Einstein ao historiador F.G. Daven-

port. A resposta de Einstein foi a um questionamento do remetente de como as experiências de Michelson haviam pavimentado o caminho para a teoria da relatividade restrita. A resposta de Einstein data de 9 de fevereiro de 1954 [8, p. 194]. Após fazer considerações sobre a origem de sua relatividade restrita, tal qual exposta no próprio artigo de 1905, Einstein reafirma que “podemos, portanto, entender por que na minha luta pessoal o experimento de Michelson não desempenhou nenhum papel ou pelo menos nenhum papel decisivo”.

Uma possível conclusão da análise dos escritos e falas do próprio Einstein é que os experimentos de Michelson eram muito considerados por ele, que chamou por vezes seu autor de artista da ciência. No entanto, seus resultados apenas reforçaram uma convicção teórica-estética de Einstein, que já assumira a validade dos dados dos experimentos como corretos antes de estudar o trabalho de Michelson. Apesar de admitir que os resultados negativos dos experimentos foram muito importantes para a aceitação da teoria, não há evidências de que tenham tido alguma importância em sua gênese.

Considerações finais

Uma discussão explícita das questões colocadas anteriormente pode ser útil procurando desconstruir opiniões problemáticas sobre o conhecimento científico. Alguns apontamentos acerca da discussão sob o viés epistemológico de Feyerabend também parece ser relevante nesse cenário. Anteriormente levantou algumas opiniões problemáticas acerca do conhecimento científico,² em particular a opinião de uma ciência de natureza empírico-indutivista. A questão que se coloca, então, é se existe e quais seriam as características da natureza da ciência que devem estar presentes para garantir o *status* de científico a um trabalho.

Para Feyerabend, pode haver muitas espécies diferentes de ciência, muitas maneiras de fazer ciência e contribuir com o conhecimento científico. Toda opinião sobre a natureza da ciência é uma entre muitas possíveis, o que reflete a heterogeneidade do procedimento científico.

Qualquer opinião sobre o conhecimento científico não pode ignorar que o empreendimento científico deve olhar para outras tradições e outros procedimentos que não os recomendados pelos racionalistas. A epistemologia de Feyerabend considera que a “ciência é uma das invenções mais maravilhosas da mente humana” [17, p. 23]. O que Feyerabend chama de ciência está muito longe dos procedimentos defendidos por *alguns* racionalistas e o que estes acreditam caracterizar a natureza da ciência. Estudar episódios históricos à luz da epistemologia relativística de Feyerabend pode ser um importante aporte para desconstruir algumas opiniões problemáticas sobre o conhecimento científico, em especial a opinião empírico-indutivista. As considerações epistemológicas nessa desconstrução podem contribuir para uma opinião acerca do conhecimento científico mais alinhada com a moderna filosofia da ciência.

Notas

¹Feyerabend discute o seu entendimento acerca de relativismo e racionalismo em seu ensaio publicado em *Adeus à Razão* [28], intitulado ‘Notas sobre o relativismo’ (p. 27-110). Em Damasio e Peduzzi [29] podem-se encontrar comentários a respeito da abordagem de Feyerabend sobre a questão.

²Na literatura é comumente chamado de imagem e/ou visão distorcida e/ou deformada da ciência as maneiras de considerar ou de entender a ciência desalinhadas com a moderna filosofia da ciência. Silva [30] faz uma reflexão crítica acerca desses termos. Para o autor, deve-se usar termos compatíveis com a correção da linguagem filosófica. Ele sugere o uso da expressão opinião no lugar de imagens ou visões, pois imagem, em filosofia, requer certo cuidado ao ser usada para não gerar interpretações dúbias. Já o termo opinião, no sentido filosófico, é sinônimo de intuição, assim justifica-se seu uso, pois o estudante não cria uma visão ou imagem da ciência, mas sim uma crença que não possui segurança de validade. Portanto, a redação mais coesa no sentido filosófico é de opinião problemática do fazer ou do conhecimento científico. A terminologia sugerida por Silva foi adotada neste trabalho.

Referências

- [1] A.F. Chalmers, *O Que É Ciência Afinal?* (Editora Brasiliense, Brasília, 1993).
- [2] F.L. Silveira e L.O.Q. Peduzzi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, **23**, 26 (2006).
- [3] S.M. Arruda e A. Villani, *Cad. Cat. Ens. Fis.* **13**, 32 (1996).
- [4] R.A. Martins, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 11 (2005).
- [5] F. Damasio e T.F. Ricci, *Relatividade de Einstein em uma Abordagem Histórico-Fenomenológica*. (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2009).
- [6] R.A. Martins, in: *Einstein: Muito Além da Relatividade*, editado por M. Knobel e P.A. Schulz (Instituto Sangari, São Paulo, 2010), p. 31-60.
- [7] L.O.Q. Peduzzi, *A Relatividade Einsteiniana: Uma Abordagem Conceitual e Epistemológica* (UFSC/EAD/CED/CFM, Florianópolis, 2015).
- [8] G. Holton, *Isis* **60**, 132 (1969).

- [9] J. Worrall, PSA: Proceeding of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association **1**, 334 (1994).
- [10] R.A. Martins, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **29**, 52 (2012).
- [11] E. Buchwald and Hundert Jahre Fizeauscher Mitfuhrungsversuch, Naturwissenschaften **28**, 519 (1951).
- [12] A.A. Michelson, American Journal of Science **22**, 120 (1881).
- [13] A.A. Michelson and E.W. Morley, American Journal of Science **34**, 333 (1887).
- [14] H. Reichenbach, *From Copernicus to Einstein* (Philosophy Library, New York, 1942).
- [15] G. Bachelard, in: *Albert Einstein Philosopher-Scientist*, edited by P.A. Schilpp (Library of Living Philosophers, Evanston, 1949).
- [16] G.J. Biscuola, N.V. Bôas e R.H. Doca, *Física*, 3 (Saraiva, São Paulo, 2010).
- [17] P.K. Feyerabend, *Contra o Método* (Editora UNESP, São Paulo, 2007).
- [18] J. Stachel, Revista Brasileira de Ensino de Física **27**, 5 (1995).
- [19] J. Renn, Revista Brasileira de Ensino de Física **27**, 27 (2005).
- [20] R.A. Martins, Ciência e Cultura **57**, 25 (2005).
- [21] A. Einstein, *Notas Autobiográficas* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1982).
- [22] A. Pais, *Sutil é o Senhor* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1995).
- [23] A. Einstein, *Äther und relativitätstheorie* (Julius Springer, Berlin, 1920).
- [24] A. Einstein, *Sidelights on Relativity*. Disponível em https://ia600207.us.archive.org/17/items/sidelightsonrela00einsuoft/sidelightsonrela00einsuoft_bw.pdf. Acesso em 14/3/2017.
- [25] R.S. Shankland, American Journal of Physics **31**, 47 (1963).
- [26] R.S. Shankland, American Journal of Physics **32**, 32 (1964).
- [27] B. Jaffe, *Men of Science in America* (Simon & Schuster, New York, 1944).
- [28] P.K. Feyerabend, *Adeus à Razão* (Editora Unesp, São Paulo, 2010).
- [29] F. Damasio e L.O.Q. Peduzzi, Investigações em Ensino de Ciência **20**, 97 (2015).
- [30] D.A. Silva, *Aspectos Epistemológicos da Física Newtoniana na Formação Científica*. Dissertação de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

Chamada por Trabalhos

A Revista do Professor de Física é uma publicação quadrimestral online voltada para o Ensino de Física. Sua missão precípua é a divulgação de trabalhos que possam contribuir positivamente no processo de ensino de temas de Física tanto no Ensino Fundamental e Médio quanto no Ensino Superior.

O site da Revista é: <http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/>

A Revista do Professor de Física é editada pela Universidade de Brasília, criada e mantida por professores de todo o Brasil, diretamente engajados nas questões relativas ao Ensino de Física. A Revista do Professor de Física lançará, em breve, seu primeiro número.

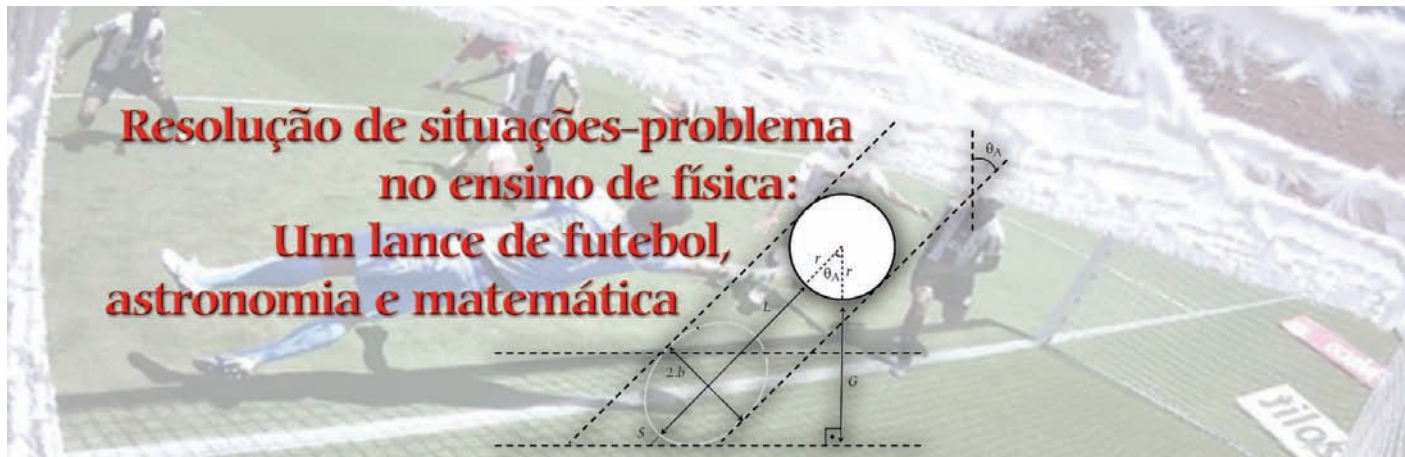


Os trabalhos podem ser escritos tanto em Latex, no template fornecido pela revista, quanto em Word®. As diretrizes para os autores podem ser obtidas [aqui](#).

Para publicar na Revista do Professor de Física, você deve primeiro se cadastrar no site da Revista como autor e leitor, para receber automaticamente em seu email as notificações de novos números publicados.

Nós, editores e equipe da Revista do Professor de Física, aguardamos suas submissões.

Deseja Publicar seu Trabalho e contribuir para a melhoria do ensino de Física no País? A RPF é o lugar ideal!



Resolução de situações-problema no ensino de física: Um lance de futebol, astronomia e matemática

.....
Marcelo G. Schappo

Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia de Santa Catarina,
Florianópolis, SC, Brasil

E-mail: marceloschappo@hotmail.com
.....

Introdução

Não é incomum, na prática docente do ensino de física, que os professores repetidamente preparem aulas de exercícios. No entanto, muitas dessas aulas acabam por não passar de uma prática repetitiva do mesmo tipo “padrão” de problemas presentes nos diferentes livros didáticos. Apesar de reconhecer que a prática dos exercícios tenha seu papel no ensino de física, a literatura vem apresentando diferentes trabalhos que propõem uma nova maneira de trabalhar

situações-problema nas salas de aula da disciplina de física [1, 2]. Com base nesses estudos, destaca-se aqui o fato de a resolução de exercícios no ensino de física ser necessária por ter papel fundamental no desenvolvimento e consolidação das habilidades dos estudantes. A proposição de situações-problema trata de elaborar questões abertas e sem resposta imediata acerca de um tema, gerando uma maneira de instigar a criatividade dos estudantes, o raciocínio lógico e a aplicação dos conteúdos discutidos pelo professor durante a disciplina. Essas questões podem ser contextualizadas com base histórica, social, tecnológica, etc.

A partir da proposta da situação-problema, diferentes metodologias de trabalho podem ser aplicadas pelos professores para a condução da aula. A literatura apresenta essas metodologias com um caráter semelhante entre si, envolvendo passos que tangem a apresentação do problema e a explicação clara do que se está buscando para resolver a questão, seguida de discussão e planejamento de uma estratégia para tal. Por fim, lança-se mão do

arcabouço de conhecimentos dos estudantes na empreitada de buscar a solução da situação-problema. O professor, ao longo do processo, pode fazer papel de orientador, buscando ouvir hipóteses dos estudantes e coordenar as atividades fazendo-os refletir sobre possíveis caminhos adequados na solução da questão.

A proposição de situações-problema trata de elaborar questões abertas e sem resposta imediata acerca de um tema, gerando uma maneira de instigar a criatividade dos estudantes, o raciocínio lógico e a aplicação dos conteúdos discutidos pelo professor durante a disciplina

Neste trabalho, deseja-se apresentar uma situação-problema real envolvendo uma partida de futebol do Campeonato Paulista de 2017. Para sua solução, serão necessários conteúdos que envolvem física (astronomia e óptica geométrica), matemática

(geometria e trigonometria) e educação física, que poderá auxiliar na interpretação das regras do jogo e termos técnicos associados à partida. Essa situação poderá ser proposta tanto para turmas de nível médio quanto superior, cabendo ao professor que desejar utilizá-la fazer o planejamento das etapas que quer percorrer para chegar à solução da questão. O artigo, portanto, apresentará uma experiência de aplicação em uma turma de nível médio da disciplina de física e também uma forma de resolver a situação-problema será traçada e explicada passo a passo. Alguns passos da solução aqui proposta envolverão uso de *softwares* disponíveis gratuitamente pela internet, o que gera também uma oportunidade do uso de novas tecnologias no ensino de física pelo professor.

Apresentação da situação-problema

A situação envolveu um lance ocorrido em uma partida de futebol do Campeonato Paulista 2017. O jogo foi entre os times RB Brasil e Santos, ocorrido no

A literatura vem apresentando diversas discussões acerca da forma como é feita a resolução de exercícios em sala de aula no que se refere ao ensino de ciências. É possível encontrar trabalhos que discutem a resolução de situações-problema envolvendo contextos sociais, tecnológicos e históricos como uma maneira de motivar os estudantes e fazê-los desenvolver o raciocínio em cima dos conhecimentos que eles possuem relacionados à disciplina estudada. Este trabalho apresenta uma situação-problema de contexto esportivo que envolve a marcação de um gol em uma partida de futebol e analisa o problema por um caminho que envolve os conteúdos de física, astronomia e matemática, podendo ser aplicado em diferentes níveis de ensino e por professores dos diferentes conteúdos relacionados. Relata-se, também, uma experiência de aplicação da situação-problema proposta em uma turma de física de nível médio.

dia 12 de fevereiro, no estádio do Pacaembu, na cidade de São Paulo. A partida encontrava-se empatada em 2 x 2 quando, nos acréscimos do segundo período do jogo, precisamente aos 47 minutos, um atleta do Santos direciona a bola para o gol após uma jogada dentro da grande área do campo do adversário. O goleiro consegue interceptar a bola enquanto a mesma estava no ar, porém o árbitro da partida e seu assistente julgaram que a bola *cruzou totalmente* a linha de gol do adversário, considerando a marcação do gol para a equipe santista. O resultado do jogo consagrou o Santos como vencedor devido a esse lance.

No entanto, existem três polêmicas envolvendo a marcação do gol: a primeira diz respeito à forma como o jogador santista envia a bola para a meta adversária, alegando que ele o fez com o uso do braço, o que não é permitido. A segunda diz respeito ao momento em que o goleiro intercepta a bola no ar: teria a bola ultrapassado completamente a linha de gol adversária, caracterizando, assim, o gol? E a terceira discute a possibilidade de o goleiro ter agarrado a bola em voo e caído no chão sobre ela, mas, nesse momento, ele a puxa de dentro do gol para fora. Isso não fica claro nas imagens do jogo, uma vez que ele caiu com o corpo encobrindo totalmente a bola.

A ficha técnica da partida pode ser encontrada em diferentes páginas de jornalismo esportivo brasileiras, onde também se apresentam as questões polêmicas descritas anteriormente [3, 4]. Acerca das questões envolvendo o lance com o braço do jogador e a queda do goleiro sobre a bola, elas não serão tratadas aqui, por fugir do escopo deste trabalho. O foco envolverá a solução da segunda polêmica: é possível determinar a posição da bola em relação à linha de gol no instante em que o goleiro a intercepta? Para auxiliar no processo, a fotografia [5] que aparece na Fig. 1 deste trabalho pode ser usada. Ela foi obtida com uma câmera posicionada atrás do goleiro da equipe RB Brasil, na parte superior da rede, e mostra o instante da interceptação da bola pela mão do goleiro.

Proposta de solução para a situação-problema

Com o intuito de resolver a situação-problema, é preciso determinar a posição da bola em relação à linha de meta do campo de futebol. Conforme rezam as regras do jogo, caso a bola tenha ultrapassado *completamente* a linha, o gol seria legítimo; caso contrário, seria irregular [6]. A polêmica específica envolvendo essa

imagem gira em torno das sombras: é possível perceber que elas estão projetadas “para a frente” em relação à linha de gol, principalmente destacando a sombra do “travessão” (barra horizontal superior da meta) e a sombra dos postes verticais da meta. Com base nisso, surge a questão: a bola estaria suficientemente “para trás” de sua sombra a ponto de já estar completamente atrás da linha de gol?

Alguns pontos a serem considerados para resolver a questão:

1. O tamanho da sombra projetada no solo pelo objeto vai depender da altura do objeto;
2. De acordo com a imagem, a sombra da bola tangencia a parte frontal da linha da gol. Apesar de não ser possível confirmar isso pela foto, é possível assumir esse fato de forma aproximada, o que será feito para fins didáticos;
3. A linha de meta tem espessura de 12,0 cm, de acordo com as regras oficiais;
4. A bola oficial tem circunferência entre 68,0 cm e 70,0 cm. Será considerado, neste trabalho, o valor de 69,0 cm de circunferência, o que fornece um diâmetro de 21,96 cm e raio de 10,98 cm.

A partir da discussão em sala de aula, o professor poderá dar prosseguimento a diferentes metodologias para tentar resolver a questão, levando em conta diferentes variáveis. A partir da análise deste trabalho, a solução do problema será feita com base na determinação da posição astronômica do Sol no instante do lance. Com essa informação e com os parâmetros geométricos da bola e da linha de gol, será discutido um possível resultado para a situação do gol. A partir deste momento, apresentam-se alguns passos para a solução da questão.

Passo 1: Determinação da orientação do campo de jogo em relação ao eixo norte-sul

A orientação do campo de jogo é importante, pois com ela será possível saber a orientação do mesmo em relação ao Sol, o que é essencial na análise das sombras. Para isso, utilizou-se o aplicativo *Google Earth* [7], disponível na rede, e obteve-se a imagem da esquerda da Fig. 2. Comparando a orientação do campo de jogo e a bússola indicada no aplicativo, que também aparece na figura, é possível considerar que a orientação do campo é norte-sul.

Passo 2: Determinação da posição do Sol no instante do lance

Para determinar a posição astronômica do Sol no momento em que a fotografia foi capturada, é preciso saber o local geográfico da ocorrência do mesmo e o horário. O horário foi facilmente determinado pela ficha técnica do jogo, com o lance ocorrendo às 12h46min locais (14h46min UTC¹). Já a localização geográfica foi feita a partir de uma calculadora *online* denominada *Mapcoordinates Service* [8]. O resultado encontra-se na imagem da direita da Fig. 2. Os valores negativos de latitude e longitude correspondem ao fato de o estádio estar nos hemisférios sul e oeste da Terra, respectivamente.

Em seguida, utilizou-se o programa *Stellarium* [9] para a determinação da posição solar. Ele foi configurado com as coordenadas do estádio e com a hora do lance. A partir daí, ele fornece as coordenadas locais do astro: azimute (θ_A) e altura (θ_H): esse é um sistema local de coordenadas geográficas [10], sendo o primeiro ângulo definido sobre a linha do horizonte, com início no norte geográfico e término na projeção vertical do astro considerado,



Figura 1: Imagem de um programa de televisão exibindo o lance do jogo [5].

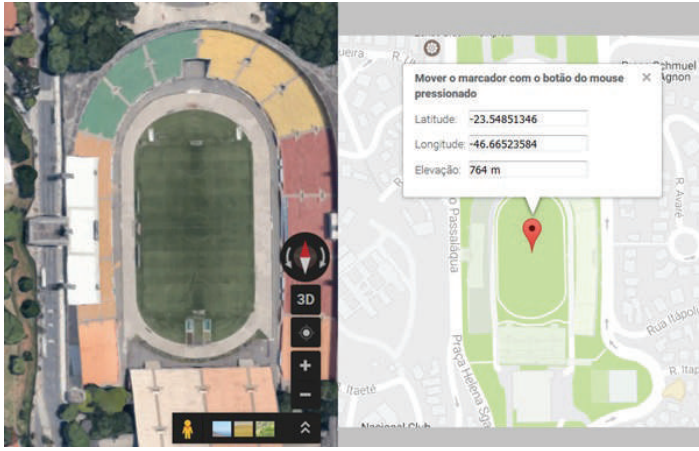


Figura 2: Visão superior do campo de jogo (esquerda) e resultado das coordenadas geográficas (direita).

ao passo que o segundo é o ângulo medido sobre a projeção vertical do astro, com início na linha do horizonte e término na posição do astro no céu. Sendo assim, o ângulo de incidência solar (θ_i), definido aqui como o ângulo de incidência de luz em relação à normal à superfície, é o complemento do ângulo de altura. Os resultados obtidos para o Sol encontram-se na Tabela 1: o Sol encontrava-se quase a pino, com incidência de cerca de 13° em relação à normal à superfície, e afastado cerca de 40° em relação ao norte geográfico, em sentido horário. Essa informação já permite concluir que a meta onde o lance aconteceu no estádio é a superior na Fig. 2, pois as sombras estão projetadas à frente da meta, conforme observação possível na Fig. 1.

Passo 3: Análise geométrica da sombra da bola

Neste passo, encontra-se a análise matemática das características da sombra da bola e como determinar a distância entre a extremidade frontal da bola e o início da linha da meta. Inicia-se com a análise da vista superior da situação, representada na Fig. 3. Chama-se atenção para a orientação norte-sul indicada e a incidência solar sobre a bola ocorrendo com ângulo de azimute em relação ao norte. Devido ao fato de o plano do solo não estar perpendicular à incidência de luz, a sombra formada para a bola será elíptica, de acordo com o diagrama. O raio menor

Tabela 1 – Posição do Sol no instante do lance.

Posição astronômica solar	
θ_A	$40,884^\circ$
θ_H	$76,994^\circ$
θ_i	$13,006^\circ$

da elipse é b e corresponde exatamente ao raio da bola (r): 10,98 cm. Conforme comentado anteriormente, este trabalho está considerando que a parte mais frontal da sombra coincide com o início (parte frontal) da linha de gol. Desse modo, L será a distância entre a extremidade da bola oposta à incidência solar e o vértice extremo frontal da sombra elíptica, medido sobre o plano do solo, enquanto S é a distância entre o referido vértice frontal da elipse e o início da linha de meta, medido também sobre o plano do solo e na mesma direção da incidência solar. Por fim, o que se deseja saber, com o intuito de responder se o gol foi válido ou não, é o valor da distância G , medida sobre o plano do solo entre a extremidade frontal da bola e a extremidade frontal da linha de meta. Sendo G maior que 12,00 cm, ha-

verá o gol, pois a bola terá ultrapassado completamente a espessura da linha em questão. Com base no triângulo formado entre as medidas de L , S , G e os raios da bola nas duas direções, tem-se a Eq. (1) que determina o valor de G :

$$\cos\theta_A = \frac{r + G}{r + L + S} \quad (1)$$

$$\rightarrow G = (r + L + S) \cdot \cos\theta_A - r.$$

Como os valores de r e θ_A são conhecidos, é necessário determinar os valores de L e S para resolver a equação para G . A determinação de L pode ser feita com a análise do plano azimutal da situação-problema. Ao analisar-se esse plano, verifica-se que a incidência solar é paralela ao plano do papel e ocorre exatamente com o ângulo de incidência (θ_i) em relação à vertical. A situação encontra-se representada pela Fig. 4. Inicia-se destacando a região da sombra, na parte inferior da figura, onde, agora, a distância $2.a$ corresponde ao dobro do semieixo maior (a) da elipse da Fig. 3. As distâncias d_1 e d_2 são dois diâmetros de referência: o primeiro deles paralelo ao solo e o segundo perpendicular aos raios solares incidentes. A altura h corresponde à distância vertical entre o centro da bola e o solo e Δh é a diferença entre h e o ponto de tangência solar superior, indicado na figura. Por fim, ΔL corresponde ao comprimento do segmento de reta formado no solo entre a projeção do ponto de tangência solar superior e a projeção da extremidade frontal da bola.

Considerando-se o triângulo retângulo no qual a hipotenusa corresponde à distância percorrida pelo raio solar entre o

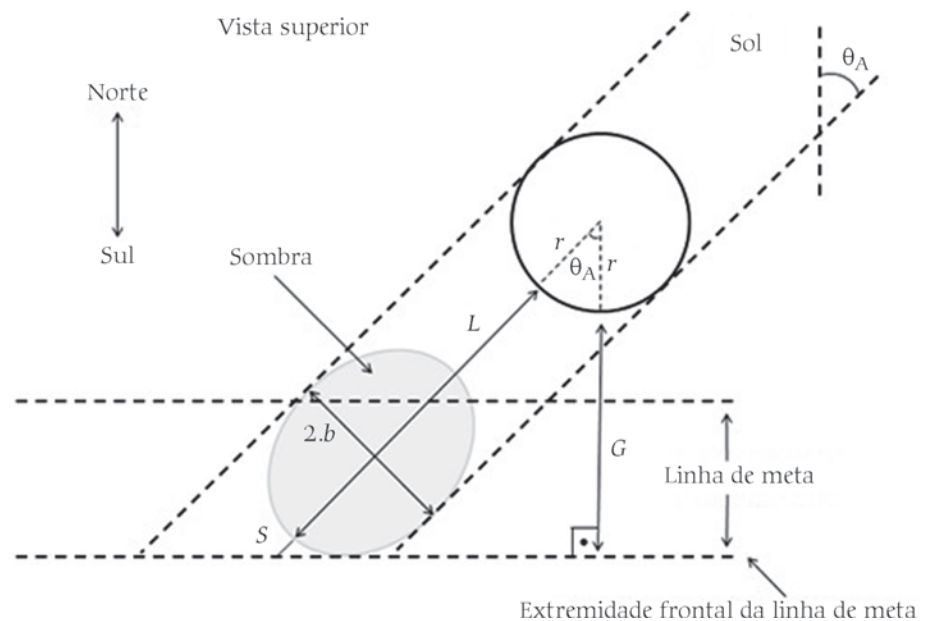


Figura 3: Análise geométrica da vista superior da situação.

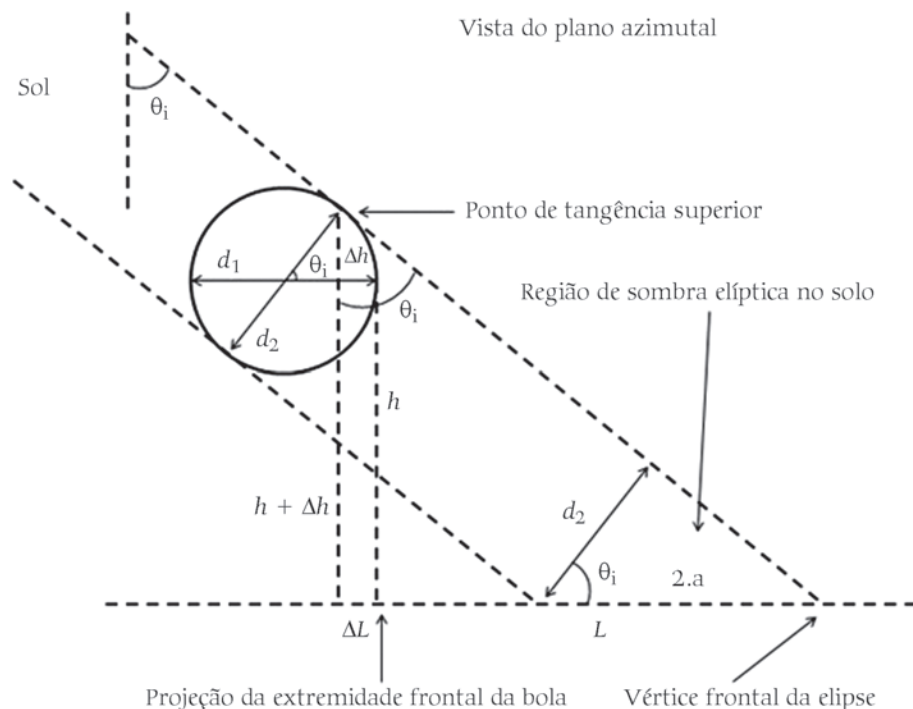


Figura 4: Análise geométrica do plano azimutal da situação.

ponto de tangência superior e o solo, é possível tirar uma equação trigonométrica que determine o valor de L :

$$\operatorname{tg}\theta_i = \frac{L + \Delta L}{h + \Delta h} \rightarrow L = (h + \Delta h) \cdot \operatorname{tg}\theta_i - \Delta L. \quad (2)$$

O valor de h será a variável independente deste estudo e seu valor será discutido no final da análise. Os valores de Δh e ΔL podem ser encontrados analisando as relações trigonométricas para o ângulo destacado no interior da bola, formado entre os dois diâmetros:

$$\operatorname{sen}\theta_i = \frac{\Delta h}{r} \rightarrow \Delta h = 2,47 \text{ cm}. \quad (3)$$

$$\operatorname{cos}\theta_i = \frac{r - \Delta L}{r} \rightarrow \Delta L = 0,285 \text{ cm}. \quad (4)$$

Analisando a região inferior da Fig. 4, já é possível determinar o valor do semi-eixo maior da elipse, informação esta que ainda não foi calculada. O triângulo retângulo ali representado permite concluir que:

$$\operatorname{cos}\theta_i = \frac{d}{2 \cdot a} = \frac{r}{a} \rightarrow a = 11,27 \text{ cm}. \quad (5)$$

Para completar a Eq. (1) ainda é preciso determinar o valor de S . A Fig. 5 auxilia nessa determinação, sendo obtida a partir da ampliação e rotação da vista superior do problema (Fig. 3). A rotação foi feita apenas para fins didáticos, facilitando a visualização dos eixos cartesianos representados. A sombra elíptica encontra-se com seu centro sobre a origem do sistema, e a reta tracejada inclinada é a extremidade

frontal da linha de meta. De acordo com o pressuposto didático deste trabalho, essa linha tracejada tangencia a elipse, portanto só há um ponto de intersecção entre ambas. A equação da reta tangente à elipse é do tipo $y = Ax + B$, onde A é o coeficiente angular, determinado pelo valor da tangente do ângulo entre a reta e o eixo horizontal [11], indicado na figura.

$$\begin{aligned} \text{Reta: } y = Ax + B &\rightarrow A = \operatorname{tg}(90^\circ + \theta_A) \\ &\rightarrow A = -1,155. \end{aligned} \quad (6)$$

Geometria da sombra

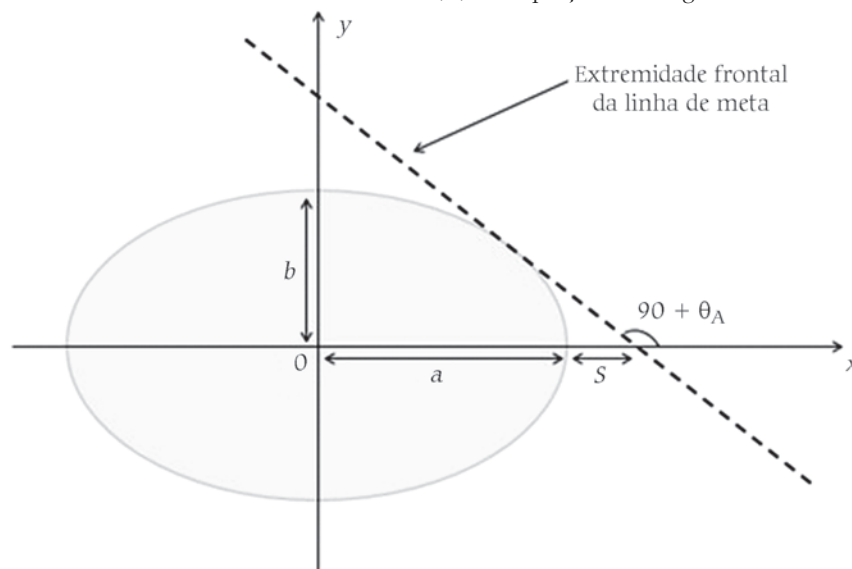


Figura 5: Análise geométrica da sombra elíptica (ampliação e rotação da Fig. 3).

A equação da elipse pode ser obtida com os valores dos seus semieixos menor (b) e maior (a). Ela tem o seguinte formato geral quando seu centro coincide com a origem do sistema cartesiano [12]:

$$\text{Elipse: } \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (7)$$

Substituindo-se o valor de y da equação da reta (6) na equação da elipse (7), chegar-se-á à equação que encontra todos os valores de x das intersecções:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(Ax+B)^2}{b^2} = 1. \quad (8)$$

Desenvolvendo a expressão anterior, chega-se a uma equação do segundo grau para x :

$$\left(\frac{1}{a^2} + \frac{A^2}{b^2}\right)x^2 + \left(\frac{2AB}{b^2}\right)x + \left(\frac{B^2}{b^2} - 1\right) = 0. \quad (9)$$

Os coeficientes de x^2 , x e o termo independente serão denominados, respectivamente, de c_1 , c_2 e c_3 , correspondendo, exatamente, aos termos entre parênteses na Eq. (9).

Caso a reta tracejada desenhada na Fig. 5 fosse deslocada para a direita, mantendo a mesma inclinação, não haveria pontos de intersecção com a elipse, e o resultado da equação de segundo grau obtida deveria ser impossível para qualquer valor de x real. Caso a reta fosse movida para esquerda, mantendo a mesma inclinação, haveria dois pontos de intersecção, e a solução da Eq. (9) deveria ser dois valores reais para x . No entanto, como a reta tracejada está tangente à elipse, só deve haver uma única solução para x real na Eq. (9). Isso significa que o discriminante (D) da equação do 2º grau calculado a

partir da fórmula de Bháskara [13] deve ser nulo. Então:

$$D = c_2^2 - 4c_1c_3 = 0. \quad (10)$$

Substituindo os valores definidos de c_1 , c_2 e c_3 a partir da Eq. (9) na Eq. (10) e resolvendo algebricamente, é possível determinar o valor do coeficiente linear da reta (B). Ele apresentará dois valores possíveis, um positivo e um negativo. Toma-se o valor positivo pela coerência do esquema da situação-problema mostrado na Fig. 5. O valor negativo corresponderia ao coeficiente linear de uma reta paralela à tracejada, mas que tangenciasse a elipse pela esquerda em apenas um ponto.

$$B = \pm ab \cdot \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{A^2}{b^2}} \rightarrow B = 17,03. \quad (11)$$

Com a posse dos coeficientes linear e angular da reta tracejada na Fig. 5, é possível determinar o ponto em que ela cruza o eixo x , denominado x_0 , para $y = 0$:

$$y = Ax + B = 0 \rightarrow x_0 = 14,74 \text{ cm}. \quad (12)$$

De posse dos valores de x_0 e a , o valor de S pode ser determinado facilmente:

$$a + S = x_0 \rightarrow S = 3,47 \text{ cm}. \quad (13)$$

Substituindo-se a Eq. (2) para o cálculo L e a Eq. (13) para o cálculo de S na Eq. (1), que determina o valor de G , chega-se:

$$G = [(h + \Delta h) \cdot \text{tg} \theta_1 + r + S - \Delta L] \cdot \cos \theta_A - r. \quad (14)$$

Percebe-se que todos os valores são conhecidos, exceto h . No entanto, para que a marcação do gol seja legítima, o valor de G deve ser, no mínimo, igual a 12,00 cm. Sendo assim, isola-se h e substitui-se o valor de G necessário para que a bola cruze completamente a linha da meta. O resultado obtido mostra que a altura mínima que o centro da bola deve estar, perpendicularmente ao solo, é de 62,06 cm. Isso significa que, descontando-se o valor do raio da bola, a base da mesma deve estar a uma altura mínima de 51,08 cm em relação ao solo, na vertical.

Passo 4: A bola cruzou completamente a linha da gol? "Foi gol"?

Talvez esta seja a parte mais complicada do ponto de vista prático, pois é necessário olhar novamente as imagens do jogo e julgar se a altura da base da bola é, ou não, maior que 51,08 cm. Essa discussão pode ser feita em grupo com o professor e os alunos. Neste trabalho, foram utilizadas duas Figs. [5]: uma delas apresentada aqui na Fig. 1 e a outra na Fig. 6. Com relação a esta última, a análise é facilitada, pois é possível perceber que a bola se encontra,

aproximadamente, a meia altura em relação ao travessão, que, segundo a regra oficial, está a 2,44 m do solo, na vertical. Mesmo se for considerada uma barra de erro grande nessa estimativa visual, o palpite de que a bola está a mais de 51,00 cm do solo é sólido. Portanto, desconsiderando as polêmicas citadas sobre o lance ter sido executado com o braço do jogador santista ou o goleiro ter caído com a bola atrás da linha de meta, o gol foi, sim, legítimo e o resultado indicado pela arbitragem foi correto. É importante destacar que a conclusão descrita aqui *não é apenas um palpite* com base na análise da imagem. É bem mais do que isso: o resultado sobre a ocorrência do gol é sólido justamente devido ao tratamento matemático anterior, que garante o gol para uma altura da bola maior que 51,00 cm.

Relato de aplicação no Ensino Médio

Esta atividade foi proposta a uma turma de aproximadamente 30 alunos, da disciplina de física de nível médio, no mês de abril de 2017. Os alunos foram submetidos à situação logo após as primeiras aulas do conteúdo de óptica geométrica, que tratavam sobre princípios básicos da propagação luminosa, meios ópticos e casos de aplicação de geometria (trigonometria básica e semelhança de triângulos) para resolução de problemas envolvendo câmaras escuras e projeção de sombras. Os alunos são do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), cursam Ensino Médio na modalidade técnico integrado, na cidade de São José, Santa Catarina.

A metodologia aplicada seguiu as características gerais indicadas na literatura [1, 2], com diferentes etapas:

Etapa 1: Motivação inicial (aproximadamente 5 min)

No primeiro momento, os alunos foram submetidos a uma atividade de título "Desafio da Física", com nome projetado

na tela da sala de aula com auxílio de projetor do tipo *datashow*, contendo também a imagem de uma bola de futebol, indicando, assim, sobre o que seria o desafio. O vídeo do lance foi apresentado. Depois, o professor-mediador relatou os detalhes do jogo e as polêmicas do lance, gerando discussões e comentários pela sala de aula. Um aluno, por exemplo, comentou que já tinha visto o lance na televisão e, portanto, já tinha pensado sobre isso. De imediato, alguns murmúrios surgiram afirmando ter sido gol legítimo enquanto outros comentários davam conta do contrário. Essa divergência inicial foi positiva e imediatamente explorada pelo professor, pois é quando ele lança o desafio projetando na tela: "Considerando as análises fotográficas do lance, seus conhecimentos matemáticos e físicos até aqui estudados e a criatividade do seu grupo, *foi gol?*".

Etapa 2: Explicação da tarefa (aproximadamente 5 min)

Logo em seguida à proposta do desafio, muitos alunos já começavam a falar com seus pares, em conversa privada, sobre estratégias prévias que eles poderiam usar para saber se houve ou não o gol. Essa conversa precisou ser interrompida para a explicação da tarefa: eles deveriam se dividir em grupos com até 5 membros e fazer um relatório contendo a análise do grupo sobre a ocorrência do gol. Nesse relatório, deveria estar descrito o passo a passo que o grupo desenvolveu para julgar a ocorrência do gol.

Etapa 3: Execução (aproximadamente 50 min)

Durante a execução, etapa mais demorada da atividade, o professor circulava pelos grupos no papel de mediador e orientador. Algumas sugestões surgiam nos grupos e eram lapidadas: um dos grupos falou para o professor que a resposta era óbvia, afinal a sombra do travessão (que fica sobre a linha de meta) estava à frente



Figura 6: Visão frontal do lance de jogo [5].

da linha de gol; logo, como a sombra da bola estava sobre a linha de gol, a bola só poderia estar dentro do gol. Mas essa afirmação não é conclusiva, pois a altura do travessão e da bola em relação ao solo não é a mesma. Assim, os deslocamentos das suas sombras também não serão. Outros grupos perguntaram se era possível medir as distâncias na figura e fazer proporções. Foram autorizados. Em seguida, outros grupos usaram estratégias semelhantes. Por fim, durante a execução, alguns grupos também questionaram se podiam fazer estimativas de distâncias a partir das figuras. Também foram incentivados a fazer isso pelo professor, desde que justificassem adequadamente suas estimativas no relatório final.

Vale destacar que a execução permitia aos grupos o acesso a duas fotografias do lance, exibidas neste artigo na Fig. 1 e na Fig. 6. Elas estavam projetadas na tela durante todo o período da execução. Algumas imagens do processo estão apresentadas nas Figs. 7 e 8. Na Fig. 7, momento de discussão entre dois membros de um grupo sobre como poderiam saber a altura da bola em relação ao solo. Na Fig. 8, um dos grupos tenta reproduzir a situação do lance do jogo usando a lanterna do celular como o sol e constroem o restante com garrafas, canetas e borracha. Esse mesmo engajamento foi observado ao longo de toda a atividade, inclusive momentos em que levaram réguas e fizeram medidas na própria figura projetada.

A partir dos relatórios entregues, é possível tirar as seguintes diretrizes:

- Todos os grupos conseguiram chegar à conclusão de que a óptica geométrica poderia ser aplicada no sentido de relacionar a sombra com a posição do objeto a partir da incidência solar. Esse fato pode ser explicado pelo pouco tempo transcorrido



Figura 8: Construção de um dos grupos feita para embasar as opiniões dos membros do grupo sobre o lance do gol.

- entre as primeiras aulas de óptica e a aplicação da atividade (1 semana);
- Muitos tiraram semelhança de triângulos comparando a altura da trave, o deslocamento frontal da sua sombra, a altura da bola e o deslocamento frontal da sua sombra (usado para argumentar se foi gol ou não). Para ter noção das distâncias, eles mediram diretamente com uma régua sobre a figura o tamanho dos jogadores e da altura do poste lateral da trave e fizeram uma proporção com o tamanho oficial do mesmo. Isso foi um indicativo de escala para esses grupos;
- Alguns grupos não matematizaram o problema, apenas argumentaram fisicamente que a solução estaria na incidência solar e nas relações de sombra;

- Outros grupos tiraram relações de proporção da altura da bola com sua sombra e compararam com a altura de jogadores das cenas e suas sombras. Esse processo é um pouco difícil, uma vez que alguns jogadores não estão completamente retos no instante das fotografias;
- Somente um grupo respondeu que NÃO foi gol. Todos os demais responderam ter ocorrido o gol, pois a bola deveria ter ultrapassado completamente a linha de meta.

Etapa 4: Fechamento (aproximadamente 20 min)

Ao final, cada grupo pôde explicar ao professor e aos colegas rapidamente o caminho escolhido para a solução do desafio. Além disso, também socializaram suas conclusões com base nas análises que fizeram.

Depois disso, foi a vez do professor apresentar a forma como resolveu a situação, mostrando o passo a passo descrito anteriormente neste artigo.

Durante essa etapa, as reações dos alunos à solução proposta pelo professor foram de surpresa e positividade. Eles comentaram que a resposta do professor estava mais complexa e mais elaborada que a deles, mas também viam semelhanças nas análises, como, por exemplo, levar em conta a incidência solar, a altura do travessão e os princípios de óptica geométrica.

Ao final, o professor parabenizou todos os estudantes e realçou a importância da participação dos mesmos usando suas próprias análises físicas e matemá-



Figura 7: Alguns estudantes analisando e discutindo sobre o lance.

ticas, independentemente das conclusões a que chegaram sobre o gol, destacando que esse era o principal objetivo: fazê-los pensar e aplicar física e matemática em uma situação-problema real. A ideia é mostrar que problemas de física (e ciências, de uma maneira geral) vão além daqueles indicados nos livros didáticos. É preciso expandir horizontes e a resolução dessa situação-problema foi uma experiência nesse sentido.

Etapa 5: Avaliação e conclusões da aplicação (aproximadamente 10 min)

Com o intuito de verificar as impressões dos alunos em relação à atividade e seus desempenhos nela, eles foram solicitados a responder uma pergunta: “Quais as suas impressões e comentários sobre a atividade proposta?”. Os alunos responderam nos seus grupos, em uma folha separada, e entregaram ao final da aula, fechando a atividade.

A partir das respostas coletadas, foi possível perceber uma satisfação e motivação grande na atividade, independentemente dos caminhos que escolheram para resolver o desafio. Alguns trechos das suas respostas estão transcritas a seguir:

A atividade foi muito boa, nos permitiu tirar conclusões próprias sobre o evento.

A atividade foi muito didática, pois nos fez utilizar aquilo que aprendemos em sala de aula em uma situação real.

Muito difícil, porém foi ótima a discussão.

Essa atividade nos ajudou a perceber como os problemas físicos do dia a dia são resolvidos, como uma simples situação sem resposta pronta pode-se descobrir muita coisa precisamente através do raciocínio e da matemática.

Por fim, foi possível perceber pelas reações dos alunos durante a explanação da proposta de solução elaborada pelo professor, mais complexa que as propostas dos estudantes, não foi desanimadora. Eles estavam atentos durante esse momento, curiosos para ver como um problema que eles tinham analisado até então poderia ser explorado com um rigor matemático maior. Esse efeito foi bastante positivo como fechamento da atividade.

Conclusões

A partir da análise da imagem do jogo, uma discussão frutífera surge em relação à física, à matemática e a regras do esporte. Caberá ao professor explorar essa mesma situação ou propor situações semelhantes envolvendo sombras e astronomia, podendo usar tecnologias no ensino e também o laboratório didático. O nível de ensino a que se aplica essa proposta também pode variar, a depender da profundidade da análise que o professor desejar executar. Neste trabalho, optou-se pela aplicação em nível médio, mas a aplicação em nível superior, em cursos de física ou engenharia, por exemplo, poderia fazer com que o professor-mediador explorasse os recursos mais elaborados de geometria e cálculo, geralmente já trabalhados em disciplinas anteriores àquela onde aparecem os conceitos de óptica, para resolver a questão do gol.

A situação proposta mostrou-se polivalente em relação aos conteúdos e pode instigar o pensamento lógico e científico em sala de aula, servindo como uma boa ferramenta para a proposição de situações-problema, afinal muitos estudantes e professores brasileiros possuem grande identificação com o futebol, uma das marcas registradas deste país.

Comentários finais

Sugere-se também, para tentar elucidar a questão sobre a ocorrência do gol,

a utilização de *softwares* de análise de dados a partir de figuras, com réguas virtuais e outras ferramentas. Isso não foi feito neste trabalho pelo fato de não ser o foco principal da análise. A intenção proposta era partir de conteúdos de física e matemática para tratar a questão, e não levar a situação apenas para uma visão computacional.

A partir das discussões presentes neste trabalho, o professor também poderá adaptar ou propor atividades experimentais envolvendo cálculos de posição astronômica solar e exploração das características geométricas de sombras de diferentes objetos sobre o solo. No entanto, é preciso atentar para o fato de que muitas fontes de luz que são usadas em laboratório para experimentos didáticos possuem feixes luminosos cônicos divergentes, diferentemente do explorado aqui: feixe de luz de fonte no “infinito” com raios paralelos entre si.

Outras maneiras de analisar a questão poderiam ser exploradas, como, por exemplo, uma comparação entre o tamanho da sombra projetada pelo travessão da meta (que tem altura conhecida) e a sombra da bola. Mas, novamente, a variável “altura da bola” precisará ser estimada.

Agradecimentos

Agradeço aos físicos e/ou colegas peçoais que participaram de debates diários sobre a cena do jogo em questão: Maurício Girardi Schappo, Vinícius Jacques, Humberto Luz Oliveira, Vinícius de Gouvêia, Sabine Schweder e Flávia de Oliveira Barbosa. Agradeço também ao estudante Pablo por ter enviado a fotografia do jogo e instigado o pensamento físico e matemático acerca da ocorrência ou não do gol.

Nota

¹UTC = Tempo Universal Coordenado, horário de *Greenwich*.

Referências

- [1] L. Clement, E.A. Terrazzan e T.B. Nascimento, in: *IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências (ENPEC)*, Bauri, 2003 (apresentação oral).
- [2] L.O.Q. Peduzzi, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **14**, 229 (1997).
- [3] Estadão Conteúdo, disponível em <http://esportes.estadao.com.br/noticias/futebol,com-gol-irregular-no-fim-santos-vence-red-bull-brasil-no-pacaembu,70001662852>, acesso em 20/02/2017.
- [4] Rede ESPN, disponível em <http://espn.uol.com.br/temporeal/12-02-2017-red-bull-brasil-x-santos>, acesso em 20/02/2017.
- [5] Polêmica da Tecnologia da Linha do Gol, Programa Esporte Espetacular. Rede Globo de Televisão, 19 de fevereiro de 2017.
- [6] Confederação Brasileira de Futebol, *Regras de Futebol 2016/17*, disponível em http://www.cbf.com.br/arbitragem/regras-futebol-e-livros#.WKS9FIm_XE, acesso em 20/02/2017.
- [7] Google Earth, disponível em <https://www.google.com/earth/>, acesso em 20/02/2017.
- [8] Vivid Planet Software, *Mapcoörditanates Service*, disponível em <http://www.mapcoordinates.net/en>, acesso em 20/02/2017.
- [9] Stellarium Software, disponível em <http://www.stellarium.org/>, acesso em 20/02/2017.
- [10] K.S. Oliveira Filho e M.F.O. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Livraria da Física, São Paulo, 2004) 2ª ed.
- [11] N. Küilkamp, *Cálculo I* (Editora da UFSC, Florianópolis, 2001), 2ª ed.
- [12] A. Steinbruch e P. Winterle, *Geometria Analítica* (Makron Books, São Paulo, 1987).
- [13] M.R. Spiegel e J. Liu, *Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas* (Bookman, Porto Alegre, 2004), 2ª ed.



O ensino de conceitos de eletromagnetismo, óptica, ondas e física moderna e contemporânea através de situações que envolvem equipamentos tecnológicos de medicina

.....

Mara Fernanda Parisoto

Universidade Federal do Paraná,
Departamento de Engenharias e
Exatas, Palotina, PR, Brasil
E-mail: marafisica@hotmail.com

Marco Antonio Moreira

Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, Departamento de Física, Porto
Alegre, RS, Brasil
E-mail: moreira@if.ufrgs.br

Wesley Dias de Almeida

Universidade Federal do Paraná,
Departamento de Engenharias e
Exatas, Palotina, PR, Brasil
E-mail: wesleydias@ufpr.br

.....

Para que os alunos aprendam com significado há a necessidade de os professores ensinarem através de situações que forneçam sentido aos conceitos. Para tanto, a presente proposta utiliza situações de física que envolvem equipamentos tecnológicos da medicina, visando fornecer sentido aos conceitos, partindo sempre dos conhecimentos prévios dos alunos e dos encontrados na literatura. Para isso, elaboramos uma proposta, dividida em cinco encontros, nos quais usamos como estratégias de ensino, dentre outras, organizadores prévios, situações-problema, modelagem computacional, filmes, simulações computacionais, confecção de mapas conceituais e de painéis. Este artigo não está focado na implantação e na avaliação da proposta, mas na divulgação das atividades desenvolvidas.

Introdução

Em uma revisão da literatura desenvolvida em uma pesquisa de Mestrado em Ensino de Física em 40 periódicos nacionais e internacionais na área de Ensino de Ciências, Qualis/CAPES A1, A2 e B1, no período de 2000 a 2009 [1], foi identificado, de modo geral, que pesquisas sobre conhecimentos prévios dos estudantes, embora muito desenvolvidas em áreas como mecânica, termodinâmica, óptica e eletromagnetismo, são escassas em relação a sua utilização na física aplicada à medicina. Para balancear essa situação foram desenvolvidos cinco encontros, para auxiliar os professores de física no trabalhar desse tema.

Uma proposta para ensinar física a partir de situações na medicina

Fazem parte da proposta os seguintes conteúdos: tipos de ondas, estrutura atômica, radiação, espectro eletromagnético, radiação ionizante e não ionizante, produção de raios X (característico e Bremsstrahlung), radioatividade, três tipos principais de radiação ionizante de origem nuclear (alfa, beta e gama), interação da radiação com a matéria, efeito Compton, efeito fotoelétrico, aniquilação e produção de pares, relação entre matéria e energia, características das ondas, cristais piezoelétricos, efeito Doppler, isótopos e radioisótopos, unidades de medida das radiações, meia vida, corrente elétrica, resistência elétrica, carga elétrica, voltagem, potência elétrica, gerador, retificador, meios de contraste, sinal analógico e digital, transformador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, campo magnético, meia vida e radioatividade.

As seguintes aplicações integram a

proposta: ultrassonografia, exposição natural, acidentes nucleares, funcionamento do olho humano e alguns defeitos da visão (astigmatismo, miopia e hipermetropia), funcionamento da radiografia convencional e da mamografia, fluoroscopia, fluoroscopia digital, imagem radiográfica, teleterapia, braquiterapia, Tomografia Computadorizada (TC), Tomografia Computadorizada Helicoidal (TCH),

Ressonância Magnética Nuclear, detectores de radiação, Medicina Nuclear, Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), Tomografia por Emissão de Fóton Único (SPECT).

Na sequência, detalhamos cada um dos cinco encontros constituintes da proposta. Cada um deles teve duração de 10 horas/aula.

Primeiro encontro

Assunto: tipos de ondas, estrutura atômica, radiação e espectro eletromagnético, radiação ionizante e não ionizante, radioatividade, três tipos principais de radiação ionizante, interação da radiação com a matéria, relação entre matéria e energia, características das ondas, cristais piezoelétricos, efeito Doppler, produção de raios X, isótopos e radioisótopos.

Aplicação: ultrassonografia (Fig. 1).

Conhecimentos prévios: segundo [3] as pessoas:

- não discriminam adequadamente onda sonora de percepção acústica;
- confundem o som com onda ou fenômeno físico e o som com audição;
- confundem onda e vibração e ruído e som;
- relacionam de forma equivocada a intensidade e a dor e a intensidade e a frequência para o ouvido humano.

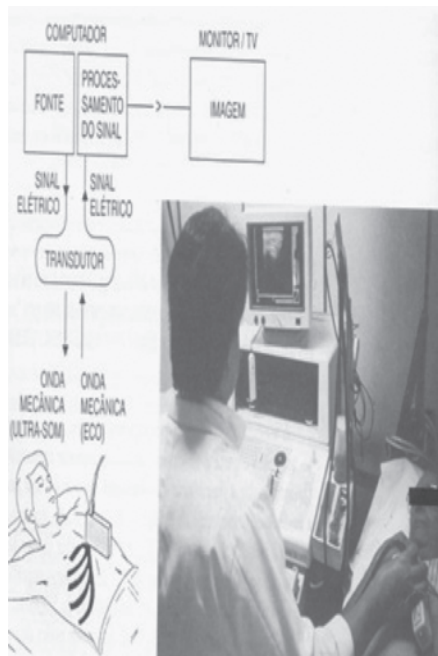


Figura 1: Esquema do equipamento de ultrassonografia [2].

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a compreenderem significativamente a produção de raios X (característico e Bremsstrahlung), a ultrassonografia, o olho humano e alguns defeitos na visão (astigmatismo, miopia e hipermetropia) a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Estratégias de ensino: aula expositiva-dialogada, atividades experimentais, colagem de painel sobre radiação eletromagnética e aplicações, simulações computacionais, coleta de dados e exercícios.

Registros usados para buscar indícios de aprendizagem significativa: gravações em áudio da situação-problema no início e ao final da aula.

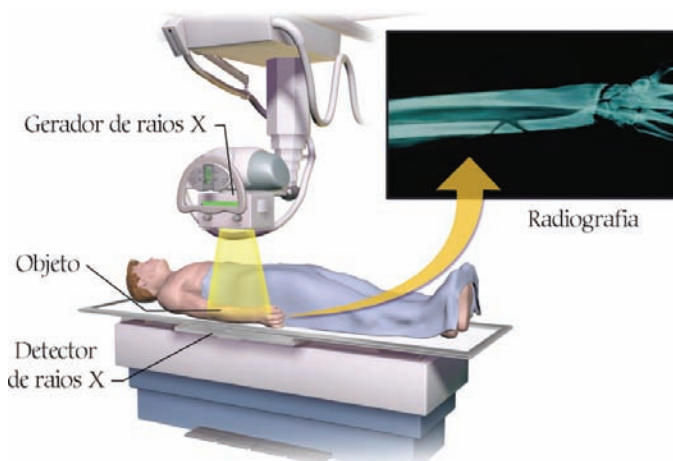


Figura 2: Modelo do funcionamento do aparelho de raios X Fonte: Ref. [5].

Organizador prévio: pegamos um pacote de pipoca, colocamos dentro de um micro-ondas e o ligamos em conjunto com os alunos. Depois tentamos fazer o mesmo colocando vários celulares ao redor das pipocas e, ligando simultaneamente para eles, mostramos aos alunos que não é possível eclodir as pipocas dessa forma. Os alunos, nessa interação, foram induzidos a perceber a relação entre a energia fornecida pela radiação de microondas e a energia fornecida pela radiação do celular à pipoca, buscando perceber as diferenças e semelhanças entre as radiações. Foi discutido quando as radiações fazem bem ou mal à nossa saúde e quais fatores influenciam para isso. Foram discutidos também os diferentes tipos de radiações, o que as caracteriza e como são produzidas, e os alunos debateram brevemente sobre o tema.

Situação-problema: se você fosse técnico em radiologia e soubesse que:

- o chumbo possui um número atômico $Z = 82$;
- a absorção da radiação é proporcional a Z^3 .

Explique para um paciente, com base nas afirmações acima, por que se usa placa de chumbo para se proteger dos raios X.

Segundo encontro

Assunto: interação da radiação com a matéria, unidades de medida das radiações, meia-vida, exposição natural e acidentes nucleares.

Aplicação: funcionamento do equipamento de raios X convencional (Fig. 2) e da mamografia (Fig. 3).

Conhecimentos prévios: segundo Watts (apud Ref. [4]), para muitos alunos a energia é vista como combustível e associada a aplicações tecnológicas que visam proporcionar conforto ao homem.

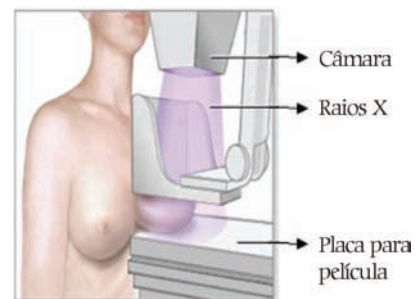


Figura 3: Mamógrafo e principais componentes de funcionamento. Fonte: Ref. [6].

A energia é compreendida também como algo que não está armazenado em um sistema, sendo que aparece na interação com ele. Alguns objetos possuem energia e são recarregáveis, enquanto outros gastam a que têm. A energia é entendida por muitos como um fluido que se transfere de um sistema a outro.

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a aprenderem significativamente o funcionamento do aparelho de raios X convencional e da mamografia, e a interação da radiação com a matéria, a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Estratégias de ensino: aula expositiva-dialogada, estudo em grupo, resolução de problemas, situação-problema, apresentações, confecção de painel e debate.

Situação-problema: suponha que vocês precisam destruir células cancerígenas de um paciente e estão em um hospital equipado para tanto. a) Qual tipo de radiação se deve utilizar? Por quê? Justificar através de explicações físicas. b) Quais os procedimentos de segurança que deveriam ser adotados?

Organizador prévio: foi utilizado um filme de apenas um minuto, que traz imagens de um homem desde a infância até metade de sua vida [7]. Depois os alunos foram indagados sobre o significado da expressão meia-vida. Qual foi a meia-vida de vocês até o momento?

Após essa atividade eles buscaram no dicionário o significado de "meia-vida" e depois a professora passou a explicar o sentido de meia-vida para a física.

A interação cognitiva potencialmente ocorre quando o aluno percebe as diferenças e semelhanças entre meia-vida, no sentido usual da expressão e para a física, assinalando as semelhanças e diferenças.

Terceiro encontro

Assunto: corrente elétrica, resistência elétrica, carga elétrica, voltagem, potência elétrica, gerador, retificador, meios de

contraste, sinal analógico e digital.

Aplicação: fluoroscopia, fluoroscopia digital (Fig. 4), imagem radiográfica (Fig. 5), teleterapia (Fig. 6) e braquiterapia (Fig. 7).

Conhecimentos prévios: tal como na parte dois, foram considerados os conhecimentos prévios identificados por Watts [4]. Segundo eles, a energia pode ser vista como: 1° uma ideia muito geral de combustível associada às aplicações tecnológicas que visam proporcionar conforto para o homem; 2° alguns objetos possuem e são recarregáveis, enquanto outros gastam o que têm; 3° uma atividade óbvia, no sentido de que, havendo atividade, há energia; 4° a energia é um fluido que se transfere de um sistema a outro.

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a aprenderem significativamente a produção de imagem radiográfica, processamento da imagem, fatores de exposição



Figura 6: Equipamento usado para fazer teleterapia. Fonte: Ref. [10].

radiográfica, fatores físicos na qualidade de imagens, radiografia digital, fluoroscopia, fluoroscopia digital, teleterapia, braquiterapia e detectores de radiação, a partir dos conceitos físicos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Estratégias de ensino: estudo em grupo, resolução de problemas, situação-problema, jogo (campo minado) e apresentações.

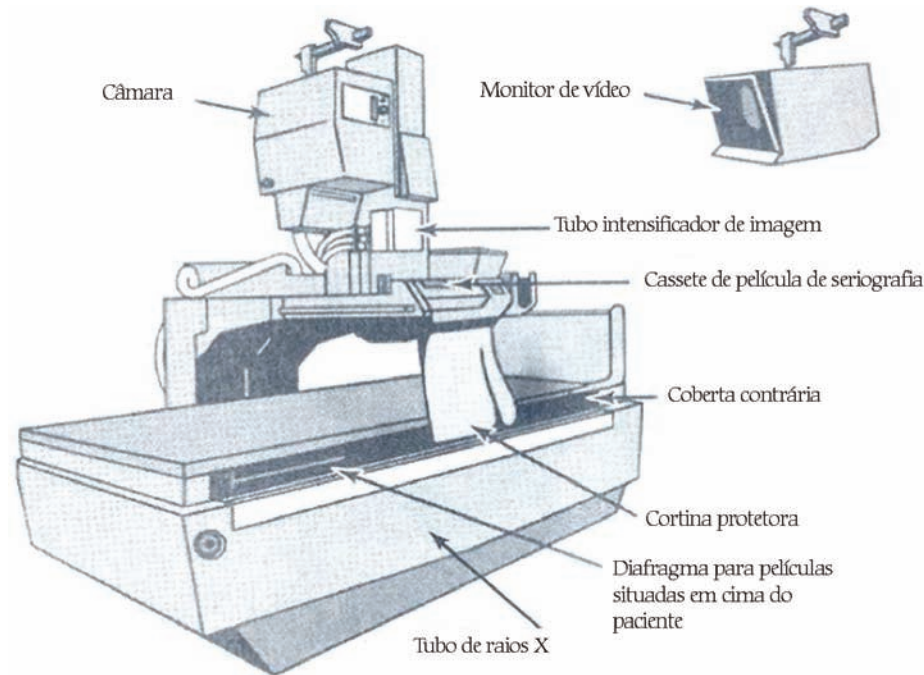


Figura 4: O fluoroscópio e suas partes associadas. Fonte: adaptado da Ref. [8].

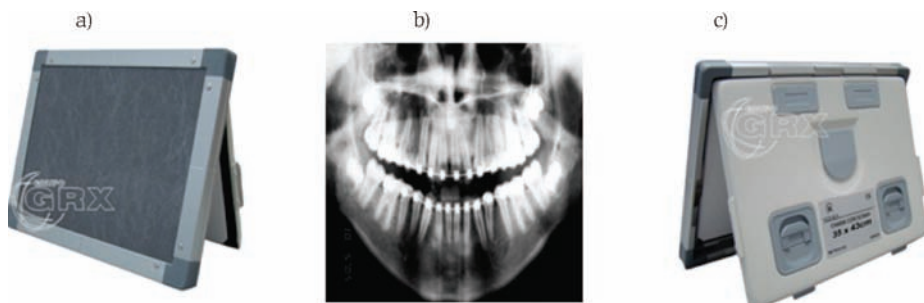


Figura 5: Partes formadoras da imagem radiográfica: a) écran; b) filme radiográfico e c) chassi. Fonte: Ref. [9].

Registros usados para buscar indícios de aprendizagem significativa: gravações da situação-problema.

Organizador prévio: foi utilizada uma pequena parte do filme *Super-Homem* [11], onde ele fica próximo à criptonita e simultaneamente começa a enfraquecer. Depois os alunos foram indagados sobre o porquê de poderem ser utilizados meios de contraste que emitem radiação, por exemplo, o que ocorre nas Tomografias por Emissão de Pósitrons, e se realmente poderia existir um material radioativo que, em proximidade ao nosso corpo, reagisse de forma análoga ao que ocorre com o Super-Homem quando ele está próximo da criptonita.

A interação cognitiva ocorre, em princípio, quando o aluno percebe por que é possível utilizar meios de contraste no corpo humano e as semelhanças e diferenças dos efeitos da radiação nos seres humanos em relação aos efeitos que a criptonita tem sobre o Super-Homem.

Situação-problema: imagine que você seja um técnico em radiologia e que precisa distinguir dois tecidos internos que possuem densidades muito semelhantes. Como você faria? Pense a sua resposta em termos de contraste.

Quarto encontro

Assunto: transformador, potência, gerador, retificador, ânodo, cátodo, filtro, blindagem, ressonância e campo magnético.

Aplicação: tomografia computadorizada, tomografia computadorizada helicoidal (Fig. 8), ressonância magnética nuclear (Fig. 9) e detectores de radiação (Fig. 10).

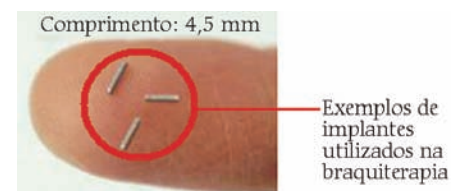


Figura 7: Exemplo de implantes utilizados na braquiterapia. Fonte: Ref. [10].

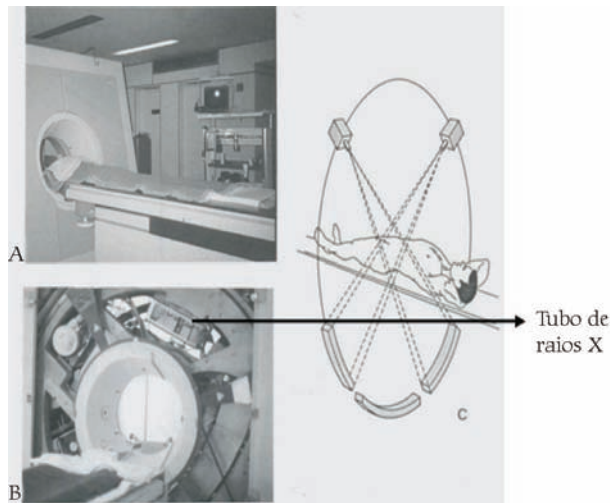


Figura 8: a) Aparelho da tomografia computadorizada; b) Aparelho de tomografia computadorizada aberto, mostrando o tubo de raios X; c) Esquema do movimento do tubo de raios X na tomografia computadorizada. Fonte: Ref. [2].



Figura 9: Equipamento de ressonância magnética nuclear. Fonte: Ref. [12].

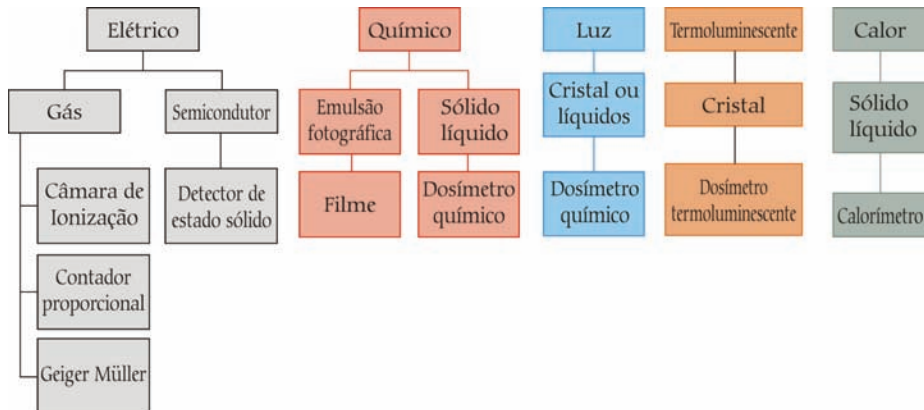


Figura 10: Principais efeitos físicos e químicos da radiação ionizante utilizados para a detecção de radiação. Fonte: Ref. [13].

Conhecimentos prévios: para [4] existem as seguintes concepções alternativas relacionadas à energia:

- é associada somente a objetos animados;
- é um agente causal armazenado em certos objetos;
- é um fluido, ingrediente ou produto;
- está vinculado a força e a movimen-

to;

- é um combustível.

A conservação de energia não é vista como necessária pelos estudantes.

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a aprenderem significativamente sobre tomografia computadorizada, tomografia computadorizada helicoidal, detectores de radiação e ressonância mag-

nética nuclear, a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Estratégias de ensino: jogo (tabuleiro), modelagem computacional (Modellus), reportagem (como funciona ressonância magnética nuclear), aula expositiva-dialogada, simulação, situação-problema, colagem, estudo em grupo, debates e questões.

Registros usados para buscar indícios de aprendizagem significativa: entrega de um mapa conceitual.

Organizador prévio: foi utilizado um filme curto (Comportamento das sombras ao longo do ano em Porto Alegre), onde através da imagem de um poste, ao longo do dia, pode-se perceber as sombras que ele e que os outros objetos em torno dele produzem, mostrando que as características das sombras variam ao longo do dia.

A tomografia computadorizada funciona de forma análoga ao Sol e a produção de sombras, uma vez que a fonte de raios X está no lado oposto do detector, ou seja, a imagem é produzida em oposição à fonte, de forma análoga aos raios do Sol. Quando os raios incidem exatamente sobre o objeto não é produzida sombra. Na tomografia computadorizada isso não ocorre, pois quando a fonte de raios X e o detector estão um sobre o outro são produzidas imagens.

A interação cognitiva potencialmente ocorre quando o aluno percebe as diferenças e semelhanças entre a relação Sol e sombra e entre fonte e detector de raios X.

Situação-problema: suponha que você se encontra com seu filho à espera de realizar um exame de tomografia computadorizada. Ele ouviu o médico falar que o equipamento fará uma volta de 360° em torno do seu pai, mas o menino ficou intrigado e perguntou: “pai, o aparelho de tomografia computadorizada não possui vários cabos? Como ele gira a 360°? Se não possui vários cabos, como o equipamento recebe e envia informações para a mesa de controle?” Explique a ele.

Sequência de atividades: inicialmente foi realizado um jogo, com o intuito de revisar conteúdos de eletromagnetismo e física moderna e contemporânea, contendo questões conceituais e formais, aplicações, história e mímica [14]. Posteriormente, foi ensinado, brevemente, como se faz modelagem no programa Modellus e foram feitas algumas modelagens com esse programa sobre ressonância, campo magnético, campo eletromagnético, transformador, voltagem, corrente elétrica e resistência elétrica [1].

Na sequência, foi realizada uma aula expositiva-dialogada utilizando o projetor

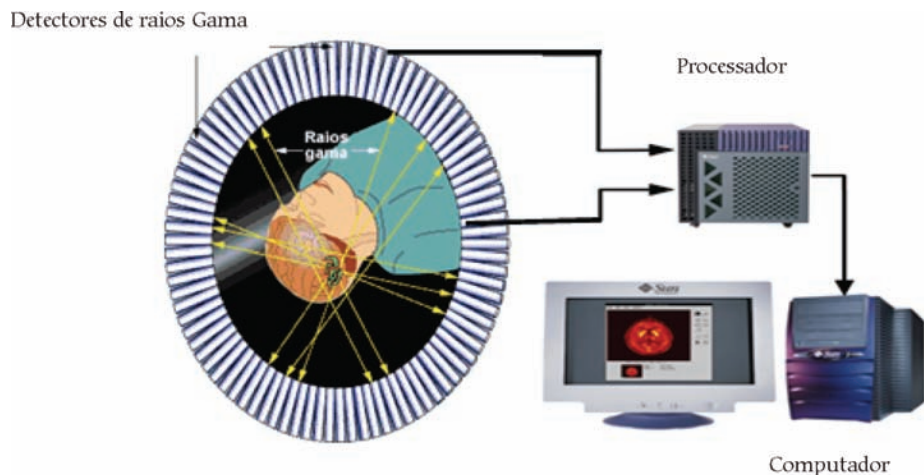


Fig. 11: Esquema da varredura PET. Fonte: Ref. [16].

multimídia, simulações computacionais, situações-problema e um documentário [15] sobre ressonância magnética nuclear.

Posteriormente, foi feito um painel. Em grupos, os alunos montaram a imagem dos seguintes aparelhos e suas partes constituintes: tomografia computadorizada, detector de radiação (cintilação), detector de radiação (gás) e ressonância magnética nuclear, identificando as partes principais e explicando o funcionamento de cada uma delas.

Por último, os alunos realizaram estudos em grupos, discutindo os textos e resolvendo questões.

Quinto encontro

Assunto: meia-vida, radioatividade, radioisótopos, tipo de emissão gama e beta.

Apliação: medicina nuclear: PET (Fig. 11) e SPECT.

Conhecimentos prévios: tal como no quarto encontro, foram considerados os resultados obtidos por Driver (apud Ref. [4]) relativos a concepções alternativas sobre energia.

Objetivos específicos: auxiliar os alunos a aprender significativamente sobre a medicina nuclear (PET e SPECT), a partir dos assuntos propostos para a aula, através de materiais alternativos.

Estratégias de ensino: filme [17], questões, debates, aula expositiva-dialogada, simulações computacionais, confecção de linha do tempo, apresentações de painéis e mapas conceituais.

Registros usados para buscar indícios de aprendizagem significativa: entrega de

um mapa conceitual.

Organizador prévio: foi utilizado um filme curto [18], no qual há várias demonstrações de jogadas possíveis.

Os alunos foram indagados quanto às semelhanças e diferenças entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes em um ciclotron. Debateu-se na sala de aula sobre isso.

Potencialmente a interação cognitiva ocorre quando o aluno percebe as diferenças e semelhanças entre as colisões existentes em uma mesa de sinuca e as existentes no interior do ciclotron.

Situação-problema: durante muito tempo, imaginou-se que os olhos emitiam radiação, que incidia sobre os objetos, que a refletiam. Essa radiação, segundo tal teoria, seria vista pelo observador. Hoje, na PET, ocorre algo semelhante. O elétron e o pósitron (antipartícula do elétron) ao se encontrarem, aniquilam-se. A massa de ambos é transformada em energia. Como você explicaria as diferenças e semelhanças entre os dois fatos narrados para alunos do Ensino Médio? Como você provaria que a teoria de emissão de radiação pelos olhos está incorreta?

A análise da implementação da proposta mostra que ela trouxe resultados positivos relacionados à aprendizagem significativa pelos alunos, que foram ensinados a partir da presente sequência de ensino

Sequência de atividades: inicialmente foi assistido o filme [17]. Posteriormente, foi discutido o filme através de algumas questões norteadoras. Na sequência, foi realizada uma apresentação expositiva-dialogada através de projetor multimídia. A seguir, foram feitas algumas questões relativas ao ensinado na aula expositiva, que foram debatidos em “mesa-redonda”. Por fim, em grupos, os alunos apresentaram os painéis de todos os equipamentos, fazendo simultanea-

mente uma linha histórica, explicando as partes principais dos equipamentos, os conceitos físicos envolvidos, os pontos positivos e negativos de sua utilização, tanto para as pessoas quanto para o meio ambiente. Apresentou-se também o histórico dos equipamentos, de modo a fazer a reconciliação integradora, proposta por Ausubel [19].

Considerações finais

Apresentamos noções básicas da organização de um currículo de física utilizando, para sua contextualização, a medicina. Iniciamos apresentando uma sequência que encontramos indícios de ser mais potencialmente facilitadora da aprendizagem significativa [11], e posteriormente fornecemos descrições de como implementar a proposta. Desafiamos que os professores façam adaptações e novas propostas de trabalho sobre o que foi apresentado no artigo.

A análise da implementação da proposta [11] mostra que ela trouxe resultados positivos relacionados à aprendizagem significativa pelos alunos, que foram ensinados a partir da presente sequência de ensino. Portanto, a proposta aqui apresentada mostrou-se uma alternativa viável para ensinar conceitos de física contextualmente e com sentido para os alunos. Pode ser usada como uma alternativa para responder àquelas questões feitas pelo aluno tão ouvidas pelos professores: “para que serve isso?”, “vou usar isso para quê?”, ao mesmo tempo que favorece um ensino inter, multi e transdisciplinar [20].

Tal proposta também se mostrou adequada para ser utilizada em vários níveis de ensino, na formação de futuros professores de física, na formação continuada de professores e também no Ensino Médio, sendo uma alternativa nesta área que possui poucas pesquisas e publicações até o momento.

Cabe aqui ressaltar a importância de utilizarmos os referenciais de aprendizagem propostos, para estimular os alunos à aprendizagem significativa [19], a relacionar os conceitos e a contextualizá-los [21], e a favorecer a criticidade dos alunos [22]. Também foi importante mostrar aos alunos como a ciência evolui, especialmente na passagem da física clássica para a física moderna e contemporânea. Enfatizamos que os conceitos podem ser melhor articulados de modo a resolver os novos problemas e dessa forma permanecem, ou não conseguem resolver os novos problemas e são abandonados, utilizando, para tanto, a epistemologia da Ref. [23] como referente.

Referências

- [1] M.F. Parisoto, *O Ensino de Conceitos do Eletromagnetismo, Óptica, Ondas e Física Moderna e Contemporânea Através de Situações na Medicina*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.
- [2] H.A. Koch, E.C. Ribeiro e E. Tonomura, *Radiologia na Formação do Técnico Geral* (Revinter, Rio de Janeiro, 1997), v. 1. p. 20.
- [3] B. Aiziczon, e L. Cudmani, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **24**, 3 (2007).
- [4] J. De P. A. Filho, e V. Jacques, in: *Anais eletrônicos do Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Curitiba, 2008, p. 12.
- [5] <http://novastecnologiassaude.blogspot.com>
- [6] www.bordadodemurmurios.blogspot.com.
- [7] <http://www.youtube.com/watch?v=isXe78uZbVQ>
- [8] S.C. Bushong, *Manual de Radiologia para Técnicos* (Elsevier Mosby, Houston, 2007), v. 9. p. 685.
- [9] www.fsc.ufsc.br.
- [10] http://radio_teleterapia.vilabol.uol.com.br/radioterapia.htm.
- [11] <http://www.youtube.com/watch?v=OkSaAhbceBk>
- [12] http://angadiagnostica.com.br/manual_exame/ressonancia-magnetica/
- [13] <http://www.higieneocupacional.com.br/download/detectores-daros.pdf>
- [14] M.F. Parisoto e K.A. Gallassin, *Utilização de Jogos no Ensino da Física*. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, Celer, 2008.
- [15] <http://www.youtube.com/watch?v=YeVHTjMwVTo>
- [16] <http://saude.hsw.uol.com.br/Medicina-nuclear2.htm>
- [17] *O Discreto Charme das Partículas Elementares* (Filme-vídeo). Filme, 22 min. Som e imagem. Disponível em http://www.youtube.com/watch?v=FAISMnKR_WM, acesso em 10/4/2012.
- [18] *Mestre da Sinuca*. [Filme-vídeo]. Filme, 3,44 min. Som e imagem. Disponível em http://www.youtube.com/watch?v=bTzr6Ullw_e0, acesso em 10/4/2012.
- [19] D.P. Ausubel, *Retenção e Aquisição de Conhecimento: Uma Perspectiva Cognitiva* (Plátano, Lisboa, 2002), v. 1. p. 625.
- [20] Rio Grande do Sul, Secretaria da Educação e Desporto, *Lições do Rio Grande* (Secretaria da Educação e Desporto, Porto Alegre, 2009), p. 124.
- [21] G. Vergnaud, *Récherches en Didactique des Mathématiques* **10**, 2 (1990).
- [22] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa Crítica* (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2005), v. 1. p. 47.
- [23] S. Toulmin, *La Comprensión Humana: El Uso Colectivo y Evolución de los Conceptos* (Alianza Editorial, Madrid, 1977), v. 1. p. 366.



IV ESCOLA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA

25 a 29 Setembro 2017

Daniel Girardi
Irene Arriassecq
Jenner Barreto
Maurício Pietrocola
Marco A. Moreira
Nelson Studart
Zolacir T. de O. Júnior

INSCRIÇÕES: <http://nbcgib.uesc.br/mnpef/iv-ebef>
CONTATO: ivebef@sbfisica.org.br
LOCAL: Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia

 Universidade Estadual de Santa Cruz
UESC | Campus Soane Nazaré de Andrade
Rodovia Jorge Amado, Km 16, Salobrinho, Ilhéus/BA | www.uesc.br

 CAPES

 SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

 MNPEF
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

As potencialidades da temática previsão do tempo para o ensino de ciências



.....
Aline Portella Biscaino

Universidade Federal da Fronteira Sul,
Realeza, PR, Brasil

E-mail: aline.biscaino@uffs.edu.br
.....

Introdução

Dariamente, os jornais, páginas da internet e telejornais apresentam a previsão do tempo para hoje e para os próximos dias em diferentes localidades. São dadas informações como possibilidade de chuva, temperatura máxima e mínima e quantidade de precipitação. Para alguns setores como a agricultura e os aeroportos, esses dados são essenciais e influenciam em seu lucro e produtividade. Seja no campo ou na cidade, a previsão do tempo interfere em nossas atividades desde um compromisso que agendamos até a roupa que será utilizada durante o dia. Para pessoas que moram em áreas de risco, próximas a encostas, na beira de rios e em regiões que sofrem com alagamentos, a previsão do tempo também é fundamental e representa, muitas vezes, a chance de escapar de uma tragédia. Um exemplo disso foram os deslizamentos de terra na região serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011 que, segundo os serviços governamentais, contabilizaram 916 mortes e em torno de 345 desaparecidos. O Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) previu o temporal que atingiu principalmente as cidades de Teresópolis, Petrópolis e Nova Friburgo. Foi emitido um aviso meteorológico especial às 16h23min de terça-feira, dia 11 de janeiro, para as Defesas Cíveis estaduais e municipais. As prefeituras de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis receberam os alertas mas declararam que não houve tempo para tomar as medidas necessárias para se evitar a tragédia.¹

No Brasil, vivemos cotidianamente situações diversas de tempo e clima.

Para pessoas que moram em áreas de risco, próximas a encostas, na beira de rios e regiões que sofrem com alagamentos, a previsão do tempo é fundamental e representa, muitas vezes, a chance de escapar de uma tragédia

Enquanto em regiões do Nordeste brasileiro temos períodos de seca, no Sul acontecem chuvas torrenciais que originam alagamentos e transformam os grandes centros urbanos. Em alguns estados, como Santa Catarina, ocorrem tornados e tempestades que deixam a população em alerta; em localidades do litoral, a chuva

provoca deslizamentos de terra que forçam as pessoas a abandonarem suas casas ou ficarem ilhadas.

Como se não bastasse tudo isso, o Brasil ainda é recordista em número de descargas elétricas. Segundo

o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), cerca de 50 milhões de raios atingem o Brasil todo ano e, entre os anos de 2000 e 2013, 1.672 pessoas perderam a vida atingidas por raios. Durante esse período, o Estado de São Paulo teve 269 casos de morte, Minas Gerais teve 130 casos e Manaus foi a cidade com maior número de vítimas, 20 pessoas.

Diante desse cenário, defende-se a necessidade de discutir no Ensino Fundamental e Médio, nas disciplinas de ciências e de física, os fenômenos climáticos, a previsão do tempo e todos os conceitos envolvidos nessa temática. Mais do que a importância desses temas, neste artigo busca-se trabalhar as possibilidades para tratar de outros assuntos fundamentais dentro do conhecimento científico, como a noção de modelos e a teoria do caos. Entender os fenômenos climáticos e principalmente saber agir diante de situações de risco é essencial para toda população.

O tempo e o clima no Brasil

Com intuito de indicar as possibilidades para o ensino de ciências no que diz respeito à utilização da previsão do tempo

Neste trabalho busca-se discutir as possibilidades que o processo de previsão do tempo, quando trabalhado em sala de aula, apresenta para o ensino de ciências e de física no que diz respeito ao ensino e aprendizagem em tais disciplinas. Para tanto, explora-se o conceito de modelo, evidenciando sua importância na ciência e a necessidade de sua presença no ensino para promover um maior entendimento pelos estudantes da produção do conhecimento científico. Além disso, possibilita a vinculação do conhecimento com a realidade que se busca compreender e descrever. Destaca-se a teoria do caos, tema relacionado à previsão do tempo, como necessária no ensino de ciências uma vez que envolve uma gama diversa de materiais disponíveis à sociedade, que a vê com curiosidade sem, muitas vezes, ter condições suficientes para selecionar as informações mais confiáveis.

como temática a ser estudada, inicialmente faz-se necessário elucidar alguns conceitos fundamentais dentro desse assunto.

A meteorologia é a ciência que estuda a previsão do tempo. Ela observa a atmosfera terrestre e dentro dos seus aspectos mais conhecidos tem-se a previsão do tempo e a climatologia. O tempo pode ser entendido como o estado no qual se encontra a atmosfera em um determinado momento e lugar, enquanto o clima de uma região corresponde ao conjunto de informações estatísticas sobre o tempo de uma determinada região. Assim,

A longo prazo é o clima que determina se uma região é ou não habitável e sua vegetação natural; num prazo mais curto, é o tempo que condiciona a segurança dos meios de transporte, a forma de lazer, a dispersão de poluentes e as atividades da agricultura [1].

As previsões do tempo ocorrem por meio de algumas propriedades que são aferidas diariamente em estações meteorológicas espalhadas por diferentes lugares. Os elementos básicos levados em conta nessas estações são a temperatura do ar, a umidade do ar, a pressão atmosférica, a velocidade e direção

A meteorologia é a ciência que estuda a previsão do tempo. Ela observa a atmosfera terrestre e dentro dos seus aspectos mais conhecidos tem-se a previsão do tempo e a climatologia

dos ventos, o tipo e quantidade de precipitação e o tipo e quantidade de nuvens. Esses dados são coletados em instrumentos como termômetro, barômetro, higrômetro, biruta, pluviômetro, anemômetro e heliógrafo, entre outros que permitem leitura manual (Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional) ou enviam os dados diretamente para computadores da central da estação meteorológica (Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática). A Fig. 1 mostra a carta sinótica para todo o Brasil para o dia 9 de março de 2016. Com os dados coletados em estações espalhadas por todo o território nacional, são indicadas nessa imagem as zonas de baixa pressão ("B" em vermelho), zonas de alta pressão ("A" em azul) e a frente fria que avança do sul da Argentina, passando pelo sul do Brasil e se dirigindo ao Oceano Atlântico.

Após a coleta desses dados, ocorre a análise do conjunto de informações a partir de modelos que darão origem às previsões com as quais estamos acostuma-

dos. Na Fig. 2, é mostrada a precipitação acumulada nas últimas 24 horas segundo o modelo "Cosmo" para os dias 9 e 10 de março de 2016.

Os modelos são utilizados na ciência como um todo e envolvem uma representação do objeto, a qual se faz necessária porque nós não apreendemos o objeto tal como ele é. Assim, uma teoria científica não está diretamente associada ao objeto real, mas à representação desse objeto. Segundo o pensamento de Mário Bunge,

A força da teorização está justamente na capacidade das teorias gerais, que a princípio não dizem respeito a nenhuma parte do mundo, de, ao serem enxertadas por estes objetos conceituais, produzirem representações da realidade, isto é, modelos teóricos [4].

É dessa forma que as teorias da ciência e, mais especificamente, da física atuam para que a previsão do tempo seja possível. Ao reconhecer a importância desse processo na economia, na sociedade e a presença dessa temática no cotidiano dos estudantes, ressalta-se a relevância de tratar tal assunto nas salas de aula. Além de conceitos físicos, a previsibilidade do tempo envolve geografia, química, meio ambiente e matemática, possibilitando um ensino interdisciplinar e apropriação de um conhecimento diretamente relacionado ao dia a dia dos estudantes.

Vejamos na sequência algumas das possibilidades de introduzir ou aprofundar o estudo da previsão do tempo nas disciplinas de ciências e física.

A noção de modelo no ensino de ciências

Para tratar do conceito de modelo e rever seu papel na ciência e no ensino de ciências, faz-se importante revisitar o pensamento de Mário Bunge, físico e filósofo argentino, que defende os modelos como a própria essência do trabalho dos cientistas. Segundo as Refs. [6, 7], existem três elementos dentro do processo de teorização, a saber: a) a teoria geral, b) o objeto-modelo e c) o modelo teórico. O objeto-modelo pode ser

definido como a representação do objeto real para o qual se pretende interpretar ou prever algum acontecimento a partir de uma teoria científica (teoria geral). O modelo teórico é "um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo" [7]. Por fim, a teoria geral pode dizer respeito a toda e qualquer parte da realidade, mas não tem o potencial de, sozinha, resolver um problema. Diante dessa estrutura, os modelos são utilizados para possibilitar a relação entre teorias científicas e os dados coletados a partir da realidade, como ocorre no processo de previsão do tempo e do clima. Mas, no que diz respeito ao ensino, como os modelos podem auxiliar o entendimento da ciência?

Assim como em [4], defende-se que os modelos não são somente relevantes dentro da ciência, mas também no processo de ensino e aprendizagem. Para o autor,

Ao construir modelos exercita-se a capacidade criativa com objetivos que transcendem o próprio universo escolar. A busca de construir não apenas modelos, mas modelos que incrementem nossas formas de construir a realidade acrescenta uma mudança de "qualidade" ao conhecimento científico escolar [4].

De maneira semelhante, advoga-se pela relevância do processo de modelização no ensino de ciências não só para que os alunos tenham uma visão mais aprofun-

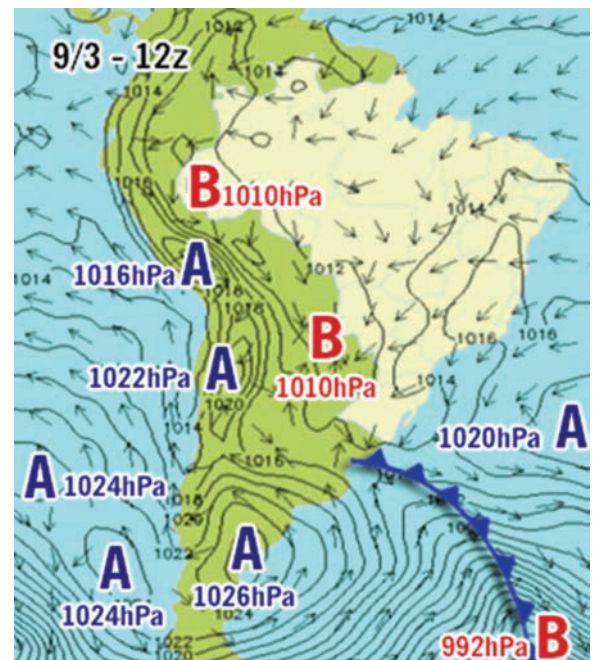


Figura 1: Carta sinótica do dia 9 de março de 2016 [2].

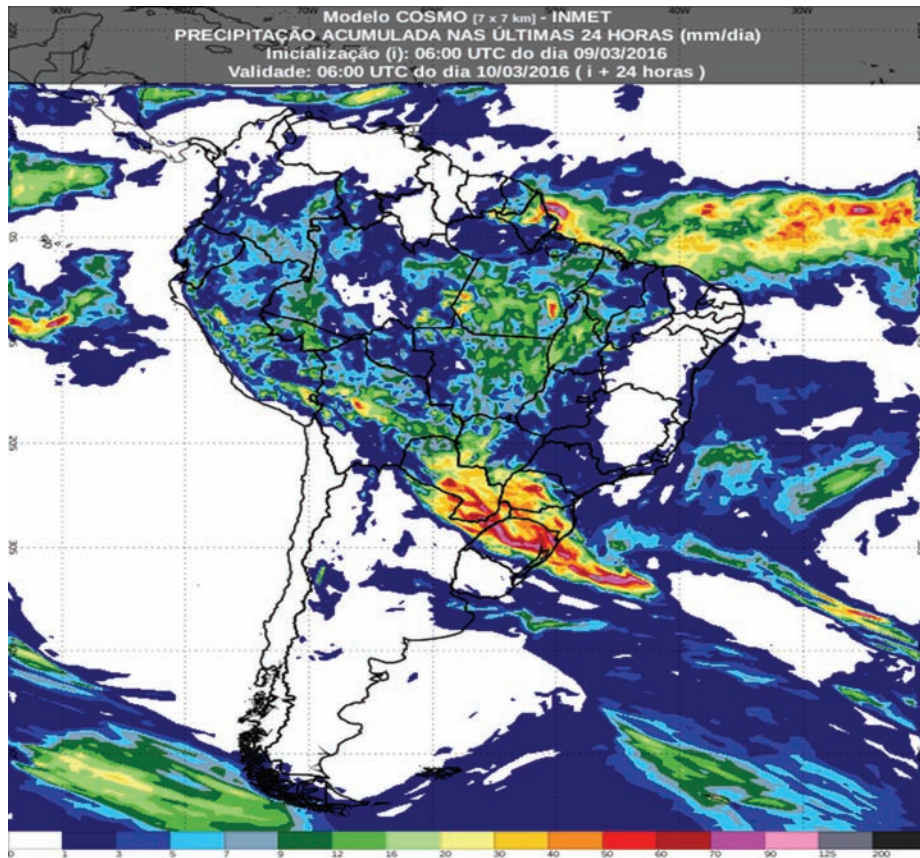


Figura 2: Precipitação acumulada para os dias 9 e 10 de março de 2016 [3].

dada do trabalho científico, mas para que aprendam nesse processo a interpretar e analisar as suas próprias concepções alternativas.² O entendimento do contexto de produção do conhecimento científico deve buscar proporcionar aos estudantes uma compreensão maior do mundo que os cerca e ter uma visão crítica a respeito do conhecimento com o qual pode explicar a realidade [4].

A partir do estudo do processo da previsibilidade dos fenômenos climáticos, acredita-se ser possível trabalhar a concepção que os estudantes possuem acerca da ciência e discutir os limites existentes na representação que temos da realidade. Não se espera enfraquecer a ideia de relevância do conhecimento científico apresentada por muitos estudantes, mas propiciar uma reflexão sobre a relação da ciência com os fenômenos para os quais se busca uma interpretação e a própria maneira como se desenvolvem as teorias científicas. Trabalhar a noção de modelos com os estudantes é mais uma forma de problematizar a visão que a sociedade tem dos

cientistas e da relação que o conhecimento estudado na escola tem com o contexto próximo dos estudantes.

É comum, dentro da área de educação, a defesa da contextualização no ensino, porém muitas vezes tem-se o uso de fatos do dia a dia como simples exemplo de onde o conhecimento científico está inserido sem, necessariamente, os estudantes compreenderem a importância de tal conhecimento para suas vidas. Essa forma de contextualização, na qual se utiliza de

exemplos do cotidiano do aluno como forma de motivação da aprendizagem, é descrita pela Ref. [8] como o enfoque didático da contextualização. Do ponto de vista defendido neste artigo, a noção de modelos a partir do estudo da previsão do tempo seria uma maneira de ir além nesse processo de contextualização.

A seguir, trata-se de um tema específico inserido no processo de previsão do tempo e que representa, para muitas pessoas, motivo de curiosidade a julgar pelo número extensivo de páginas na internet que tratam do assunto.

As primeiras indicações de um sistema com comportamento caótico ocorreram quando Lorenz observou que pequenas mudanças ou pequenos erros em um par de variáveis produziam resultados bastante diferentes entre si

A teoria do caos

A partir de uma busca rápida pela internet, é possível encontrar diversas páginas que se referem não só à teoria do caos, mas a muitos outros temas atuais da ciência sem, no entanto, ter um compromisso formativo com a sociedade. Dessa forma, a incorporação dessas temáticas ao ensino formal é de fundamental importância, de modo a propiciar, mais do que informação, uma capacidade de reflexão crítica sobre tais assuntos.

A teoria do caos vem ganhando grande popularidade devido à literatura de divulgação científica e principalmente por estar envolvida em uma multiplicidade de áreas como a meteorologia, a biologia, a física, a química e a administração. A partir dessa teoria é possível explicar fenômenos climáticos, o crescimento populacional dos insetos e ela ainda ajuda no entendimento de fenômenos organizacionais da sociedade. Algo que ficou bastante conhecido, inclusive no mundo das artes plásticas, são as superfícies fractais, diretamente relacionadas com a teoria do caos [4].

As primeiras indicações de um sistema com comportamento caótico ocorreram quando o meteorologista do M.I.T. Edward Lorenz observou que pequenas mudanças ou pequenos erros em um par de variáveis produziam resultados bastante diferentes entre si. Para um período de dois dias, essas pequenas mudanças mal faziam diferença; mas extrapolando para um mês ou mais, as alterações produziam padrões completamente distintos. O meteorologista chamou esse comportamento de “efeito borboleta”. O caos teria permanecido como mera curiosidade não fosse a descoberta do físico Mitchell Feigenbaum, ainda na década de 1970, de que muitos sistemas não-lineares, aparentemente não relacionados, comportam-se de modos semelhantes.

A teoria do caos surge com Tien-Yen Li e James A. Yorke, em 1975, passando por uma ascensão no que diz respeito à divulgação científica nas décadas de 1980 e 1990. Apesar da intuição expectativa em torno da palavra “caos”, essa teoria descreve um padrão de comportamento em fenômenos bastante complexos [9]. Foi a ideia de uma “desordem ordenada” que fez James Yorke utilizar essa expressão para descrever um padrão de organização por detrás da aparente causalidade.

Juntamente com a teoria do caos, o paradigma da complexidade e a teoria sistêmica compõem a forma como a ciência tem tratado os sistemas complexos.

Desenvolvida no seio das equações determinísticas clássicas (equações diferenciais ordinárias), que supostamente teriam o poder de prever o comportamento de um sistema em qualquer escala de tempo, a teoria do caos vem revelar a existência de sistemas determinísticos, contínuos e discretos, cujo comportamento é imprevisível devido à grande sensibilidade a mudanças nas condições iniciais, após um certo intervalo de tempo [9].

Da mesma maneira que a discussão sobre o papel dos modelos na construção do conhecimento científico, a teoria do caos pode auxiliar na compreensão dos estudantes no diz respeito à relação da ciência com a realidade que busca descrever e entender. Ainda, “a compreensão da sensibilidade às condições iniciais balança a concepção de que fenômenos imprevisíveis são descritos somente por sistemas aleatórios. Os sistemas determinísticos também podem se tornar imprevisíveis” [9].

Por exemplo, o comportamento de sistemas quintessenciais de líquidos fluindo, os quais são propícios a sofrer grandes mudanças de um comportamento estável para um comportamento aparentemente caótico. Isso é observado no modo como a água passa de líquido fixo a líquido em ebulição, à medida que a temperatura é ligeiramente aumentada, por exemplo, de 99,5 °C para 100,5 °C. Segun-

do a Ref. [9], fenômenos como esse, até então considerados aleatórios, foram equacionados deterministicamente a partir da constatação da existência de sistemas determinísticos com comportamento próximo de aleatório.

Do ponto de vista escolar, a abordagem da teoria do caos nas disciplinas de ciências e de física, observando obviamente as características do aprendizado de cada idade, possibilita, além do conhecimento científico específico desse tema, problematizar a concepção de ciência e de sua relação com os fenômenos naturais. Muitos estudantes mantêm a concepção de que a ciência representa uma verdade única, absoluta, na qual não há espaço para sistemas que se comportem fora desse padrão. Dessa forma, as atividades experimentais são vistas com a função de comprovação de teorias.

Considerações finais

Neste trabalho, buscou-se apresentar algumas potencialidades da temática da previsão do tempo para o ensino de ciências e de física. Destacou-se a possibilidade de modificar ou ampliar a concepção de ciência dos estudantes a partir da noção de modelos e de sua utilização no desenvolvimento do conhecimento científico. Levar os estudantes à compreensão da importância dos modelos na ciência e como estes se relacionam com a realidade observada e experimentada propicia um entendimento da ciência como construção coletiva, histórica e que está sujeita a melhorias, rupturas e correções. De maneira semelhante, o estudo da teoria do caos,

fundamental na meteorologia, promove uma percepção crítica a respeito do caráter determinístico da ciência.

A abordagem desses assuntos é facilitada quando o estudante pode associá-los a algo presente no seu cotidiano, como é o processo de previsão do tempo. Além disso, essa temática envolve conceitos de áreas distintas, sendo capaz de promover a interdisciplinaridade que, muitas vezes, os estudantes não são capazes de perceber sozinhos. Por fim, cada etapa que compõe todo o sistema que permite prever o tempo e o clima envolve inúmeros outros conceitos e teorias que não foram destacados nesse texto, mas que fazem parte dos currículos de ciências e de física e que, portanto, podem ser trabalhados também a partir dessa temática.

No intuito de auxiliar o professor da educação básica ou mesmo como fonte de pesquisa para os estudantes, foi construído um sítio³ que reúne algumas das informações destacadas neste artigo. Esse sítio busca, a partir de vídeos, outros artigos e páginas de institutos de pesquisa e órgãos governamentais, dar subsídio para a inserção na temática de previsão do tempo.

Notas

¹Mais detalhes em Folha de São Paulo, 13 de janeiro de 2011.

²Para mais informações consultar: J.I. Pozo e M.A. Gómez Crespo, *A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: Do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico* (Artmed, Porto Alegre, 2009).

³Página: <http://abiscaino.wixsite.com/previsaodotempo>.

Referências

- [1] A.M. Grimm, *Meteorologia Básica – Notas de Aula*, Disponível em <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/index.html>, acesso em 4/3/2016.
- [2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, disponível em <http://www.inpe.br/>, acesso em 2/2/2016.
- [3] Instituto Nacional de Meteorologia, disponível em <http://www.inmet.gov.br/>, acesso em 9/3/2016.
- [4] M. Pietrocola, *Investigação em Ensino de Ciências* **4**, 213 (1999).
- [5] T. Wood Jr., *Revista de Administração de Empresas* **33**, 94 (1993).
- [6] M. Bunge, *Filosofia da Física* (Edições 70, Lisboa, 1973).
- [7] M. Bunge, *Teoria e Realidade* (Editora Perspectiva, 1974).
- [8] E.C. Ricardo, in: *Ensino de Física*, editado por A.M.P. Carvalho e cols. (Cengage Learning, São Paulo, 2010).
- [9] P.C. Ferrari, *Temas Contemporâneos na Formação Docente a Distância: Uma Introdução à Teoria do Caos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.



Espelhos, lentes e pintura: Uma proposta de atividade baseada na obra de David Hockney

.....
Marlon C. Alcantara

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, MG, Brasil e Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação – CEFET-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: marlon.alcantara@ifsudestemg.edu.br

Marco Braga

Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação – CEFET-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: marcobraga.pq@gmail.com

Marcio F.S. Costa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, MG, Brasil
E-mail: marcio.fscosta@hotmail.com
.....

Introdução

Em muitos trabalhos acadêmicos, podemos observar pesquisadores indicando a interdisciplinaridade como um dos caminhos para tornar as disciplinas escolares mais reflexivas, e com o objetivo de integrar os problemas e as vivências do cotidiano dos alunos aos conhecimentos acadêmicos que são trabalhados na escola. Muito disso vem da visão que a ciência tem um papel utilitário dentro do processo formativo do aluno, como pode ser visto no trabalho de Jim Ryder [1]. Contudo, nós observamos outro componente que também se faz importante: a construção da ciência como um empreendimento sociocultural. As relações entre áreas aparentemente diferentes, como ciência e arte, podem ser vistas em trabalhos nacionais e internacionais [2, 3]. Neste artigo, apresentaremos uma atividade realizada com base no livro *O Conhecimento Secreto*, de David Hockney [4]. Assim, pretendemos discutir alguns aspectos teóricos sobre o livro e seguidamente mostrar uma atividade escolar que visa

A ciência tem um papel utilitário dentro do processo formativo do aluno, mas os autores deste artigo observaram outro componente que também se faz importante: a construção da ciência como um empreendimento sociocultural

unir ciência e arte ou, mais especificamente, como a óptica e os instrumentos ópticos se relacionaram com a pintura no período entre os Séculos XV e XVII. A atividade incluiu pesquisa, montagem de instrumentos ópticos e maquetes com materiais alternativos por parte dos

alunos e professores. Além disso, foi realizada uma exposição interativa e uma palestra. Na Tabela 1 descrevemos quais foram as atividades realizadas, e ao longo do texto mostraremos o processo de montagem de alguns dos equipamentos.

O conhecimento secreto

Em 2001 o pintor e desenhista inglês David Hockney lançou o livro *The Secret Knowledge – Rediscovering the Lost Techniques of the Old Masters*. Nesse mesmo ano ele foi publicado em língua portuguesa com o título *O Conhecimento Secreto – Redescobrimo as Técnicas Perdidas dos Grandes Mestres*. Nessa obra o autor retrata sua tese de que em algum momento da história a qualidade das pinturas havia mudado bastante. Na visão de Hockney o surgimento de novas técnicas no campo da óptica fizeram com que as pinturas parecessem mais “reais”, “naturais”, “fotográficas” ou mesmo, “fieis à realidade” [4]. Ao estudar as obras do pintor Jean-Auguste Dominique Ingres (1780-1867), Hockney afirma que devido à complexidade e ao pequeno tamanho de seus desenhos, o artista teria se utilizado de um instrumento óptico recém inventado, a câmera lúcida (Fig. 1).

A câmera lúcida é um instrumento bastante fácil de ser construído com materiais de baixo custo. Porém, não é tão simples de ser utilizada para fazer dese-

No início do Século XV as pinturas começavam a ganhar certo grau de naturalidade, poderíamos dizer que ficavam cada vez mais fotográficas. Uma técnica ensinada de mestre para discípulo veio revolucionar a maneira de representar. Entretanto são poucas as provas documentais. Neste artigo, relatamos uma atividade que teve o propósito de discutir como algumas pinturas feitas entre os Séculos XV e XVII podem ter sido produzidas com o auxílio de instrumentos óticos. Para tal, utilizamos como fonte de inspiração a obra de David Hockney intitulada *O Conhecimento Secreto*.

Tabela 1: Sequência de eventos.

Proposta	Tempo de realização
1- Pesquisa e construção dos instrumentos	4 Semanas
2- Exposição interativa	1 hora
3- Palestra	35 minutos
4- Perguntas e discussões	25 minutos

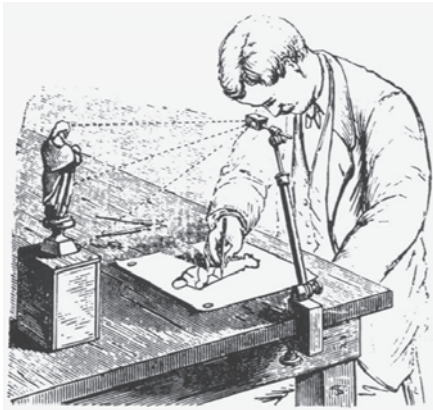


Figura 1: Câmera lúcida. Fonte: <http://www.aloj.us.es/galba2/TESES/CAPITULO1/ILUSTRACIONES/ilustraci3/ilustra.jpg>, acesso em 14/11/2016.

nhos. Atualmente nos laboratórios de biologia são utilizados instrumentos que produzem efeitos semelhantes, com intuito de se desenhar, chamados de câmera clara. A ideia da utilização da câmera lúcida é bastante razoável. Contudo, para Hockney, a mudança na pintura ocorreu de dois séculos a três séculos antes da invenção da câmera lúcida. Procurando indícios na história da arte, é possível observarmos o uso de câmeras escuras para fazer projeções, como na gravura da Fig. 2. As primeiras versões de câmeras escuras consistiam em quartos escuros com um pequeno orifício no qual a luz pode entrar e, assim, formar uma imagem na parede oposta ou em um anteparo colocado à sua frente.

Com a câmera escura podemos projetar uma cena em uma tela ou em uma

parede. Mas o pequeno orifício do instrumento não é capaz de projetar uma imagem nítida o suficiente para uma pintura de qualidade. Em 1569 foi publicado um livro para artistas chamado *La Pratica Della Perspectiva*. Escrito pelo arquiteto veneziano Daniele Barbaro, o livro sugere que no lugar do orifício fosse colocada uma lente. A chamada câmera escura foi utilizada por Kepler (1571-1630) com diversos objetivos, dentre eles visando compará-la ao funcionamento do olho humano, com a projeção da imagem feita na retina [5]. Para alguns historiadores da arte já era sabido que as pinturas quase “fotográficas” poderiam ser observadas nas obras de pintores como Canaletto (1697-1768) e Johannes Vermeer (1632-1675). Philip Steadman [6] utilizou-se de maquetes e estudos geométricos para explicar esse possível uso da câmera escura pelo pintor Vermeer.

O processo de projeção das Figs. 2 e 3 é bastante parecido. Pode ser que devido a ele tenham surgido fatos curiosos em algumas pinturas produzidas no final do Século XVI. Até meados do Século XVII, muitas pessoas apareciam segurando objetos com a mão esquerda, o que não era observado tanto em períodos anteriores como em períodos posteriores. O



Figura 2: Projeção com câmera escura em manual de arquitetura militar, Século XVII. Fonte: Library of Congress, Washington, ms. 1363, Rosenwald collection.

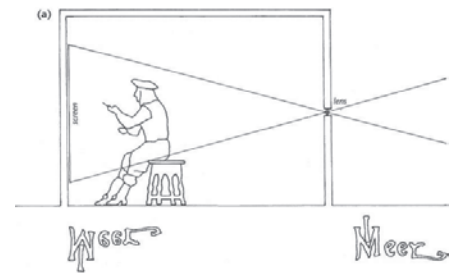


Figura 3: Imagem projetada na parede. Fonte: Ref. [6, p. 7].

problema de se pintar a partir da projeção direta de uma lente é que a imagem projetada fica invertida. Assim, é um fato comum vermos nesse período pessoas segurando objetos com a mão esquerda. Olhemos as Figs. 4 e 5.



Figura 4: *Drinking Boy* (1626-1628) Fonte: <http://www.wga.hu/art/h/hals/frans/03-1630/27drinki.jpg>, acesso em 14/11/2016.



Figura 5: Imagem invertida por computador.

A figura da esquerda (Fig. 4) é a original pintada por Frans Hals (1582-1666); a da direita (Fig. 5) é uma “imagem especular” feita por computador. Curiosamente podemos observar várias dessas pinturas no livro de Hockney. Em um documentário produzido pela BBC sobre o livro de Hockney, é apresentado um quadro datado de 1660 no qual as únicas três pessoas que aparecem na pintura são canhotas. Muita coincidência, não?

Em *O Conhecimento Secreto* podemos ver Hockney mais como um investigador do que propriamente um artista. Ele montou um grande acervo de gravuras em alta resolução separando-as por datas para conseguir visualizar tais “anomalias”. Mas também procurou reproduzir vários desenhos e pinturas usando técnicas baseadas em instrumentos ópticos. Uma solução que pôde ser utilizada para que a imagem não ficasse invertida é a combinação de espelhos e lentes nas câmeras escuras como pode ser visto nas Figs. 6 e 7.

Mesmo sendo céticos quanto à utilização de espelhos e lentes nas pinturas, podemos perceber em algumas obras indí-

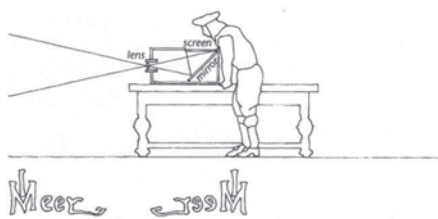


Figura 6: Câmera escura tipo *box* com espelho em 45°. Fonte: Ref. [6, p. 10].



Figura 7: Histórica câmera escura do Século XVII, construída no Max Planck Institute for the History of Science em Berlim, por Carsten Wirth and Henrik Haak.

cios de efeitos ópticos provocados por espelhos e principalmente por lentes. No livro e no documentário (*O Conhecimento Secreto*) Hockney recorre ao físico Charles Falco (professor da Universidade do Arizona) e lhe foi mostrada a pintura *Ritratto di Coniugi* (1543), de Lorenzo Lotto (1480-1556/57). Falco encontra várias evidências do uso de uma lente na construção da pintura, dizendo que há elementos suficientes para dizer que, a partir das leis da geometria, é possível calcular a distância focal e o diâmetro da lente.

Do ponto de vista de evidências históricas, Constantijn Huygens (1596-1687), personagem importante na consolidação da república holandesa, deixa um relato importante de que a pintura *Emblematic Still Life with Flagon, Glass, Jug and Bridle* (Fig. 8) do pintor Torrentius (1589-1644) necessitou da ajuda de um aparato mecânico [7].

Em *The Lacemaker* (Fig. 9), Vermeer pinta uma mulher bastante concentrada em seu trabalho. Podemos perceber que seu rosto está com uma boa resolução, aquilo que poderíamos popularmente chamar de “em foco”. Contudo, as linhas que estão à esquerda do quadro e “próximas” ao observador estão levemente desfocadas. Isso não aconteceria se Vermeer pintasse a olho nu, pois ao direcionar o olhar para a parte a ser pintada, o foco seria automaticamente regulado pelo seu próprio olho, e então teríamos uma pintura sem esse tipo de distorção. Esse efeito é semelhante ao que se pode conseguir com uma câmera fotográfica nos dias atuais, e pode ser visto em outras obras de Vermeer como *A Leiteira* e *A Vista de Delft*.

Diante de mais evidências em relação às que apresentamos aqui, Hockney tenta chegar a uma data ou período mais preciso para o surgimento da técnica.



Figura 8: *Emblematic Still Life with Flagon, Glass, Jug and Bridle* (1614). Fonte: <http://www.wga.hu/art/t/torrenti/allegory.jpg>, acesso em 14/11/2016.



Figura 9: *The Lacemaker* (1660-1670). Fonte: <http://www.wga.hu/art/v/vermeer/03d/30lacem.jpg>, acesso em 14/11/2016.

Analisando detalhes de armaduras, roupas, tecidos e detalhes nos rostos de algumas pessoas, ele concluiu que tal mudança ocorreu próxima ao ano de 1420.

A presença de obras tão detalhadas em períodos anteriores ao Século XVII faz com que a tese de que somente a câmera escura (com ou sem lente) tenha sido o único aparato óptico que fez a grande transformação na pintura desse período seja descartada. As lentes só vieram a ter boa qualidade óptica para pinturas tão



Figura 10: Pintura feita por Giotto em 1300. Fonte: <http://hockney-optics.brandeis.edu/hypothesis/index.php>, acesso em 14/11/2016.



Figura 11: Pintura feita por Robert Campin em 1430. Fonte: <http://cargocollective.com/northernren/Campin-Portrait-of-A-Man-and-A-Woman>, acesso em 14/11/2016.

detalhadas no Século XVII, quando passaram a ser produzidas por grandes polidores como Leeuwenhoek (1632-1723), Baruch Spinoza (1632-1677), Christiaan Huygens (1629-1695) e seu irmão Constantijn Huygens Jr. (1628-1697), entre outros, quando foram fabricadas principalmente para o desenvolvimento de telescópios e microscópios.

Mas então como pode ter ocorrido tal revolução?

A resposta pode estar contida em várias obras produzidas na região de Flanders. Mesmo que pintores não tenham deixado suas técnicas descritas em manuais, deixaram evidências em obras como podemos observar nas Figs. 12 e 13.

Os espelhos convexos podem ser observados em várias pinturas entre os

Séculos XV e XVII. Eles foram utilizados para compor o cenário de grandes obras como *O Casamento dos Arnolfini* (1434) de Van Eyck. Contudo, esses espelhos não dão resposta à nossa questão. Mas nos deixam uma grande pista! Na verdade, os espelhos côncavos são a chave do mistério, pois assim como as lentes convergentes eles podem projetar imagens em um anteparo. Essa é uma propriedade ensinada a nossos alunos do Ensino Médio e em alguns casos no Ensino Fundamental.

Dessa forma, a presença de espelhos convexos nas pinturas da mesma época em que ocorreu a grande mudança na pintura é uma das evidências que Hockney apresenta em seu livro. Pois se esses artesãos são capazes de fabricar espelhos convexos, também teriam a capacidade de fabricar espelhos côncavos. Trabalhar com vidros e espelhos também era um ofício que se podia aprender nas guildas, como a Guilda de São Lucas em Bruges. Fato que corrobora a tese de que os artistas, ao terem contato com tal aparato, utilizaram os espelhos como técnica para pintar. Esse processo não é somente mecânico e nem tira do artista seu talento para pintar, mas nos revela um mundo artístico conectado com os instrumentos e as leis da natureza para conseguir uma pintura que fosse mais “fiel à realidade”.

O Projeto de Ciência e Arte

O Projeto Ciência e Arte ocorre uma vez a cada mês na escola, e tem como finalidade mostrar e discutir com os alunos as relações entre os vários campos das artes e a ciência. No caso dessa mostra, buscávamos discutir como o desenvolvimento dos instrumentos ópticos trouxe mudanças significativas na maneira de pintar, sobretudo na região de Flandres e na Holanda entre os Séculos XV e XVII.



Figura 12: *The Moneylender and His Wife*, Quentin Massys, 1514. Fonte: <http://tomclarkblog.blogspot.com.br/2010/11/through-looking-glass-gallery-of.html>, acesso em 14/11/2016.



Figura 13: *St. Eligius in His Workshop*, Christus Petrus, 1440. Fonte: <http://tomclarkblog.blogspot.com.br/2010/11/through-looking-glass-gallery-of.html>, acesso em 14/11/2016.

Intitulamos essa atividade de *Os Mes- tres da Luz*, e nosso propósito consistiu em exibir vários instrumentos em uma exposição interativa seguida por uma palestra. Para tal, construímos alguns instrumentos ópticos com a ajuda dos alunos.

Instrumentos fabricados

Montamos quatro tipos de câmeras escuras. Duas de projeção direta, porém com materiais distintos. Uma toda em madeira com o anteparo em isopor e papel vegetal, e a segunda de caixa de papelão, como descritas a seguir.

Câmara escura de projeção direta com caixa de papelão (Figs. 14, 15 e 16)

Material

- Uma caixa de papelão (30,0 cm x 21,0 cm x 20,0 cm).



Figura 14: Lente – Foto: Os autores.

- Tinta guache preta
- Pincel
- Placa de isopor
- Papel vegetal
- Cola de isopor
- Lente convergente de distância focal 25,0 cm (+ 4,0 di)
- Copo de artesanato (MDF)

Para a câmara escura no formato clássico de “quarto escuro” utilizamos uma pequena sala, colocando um anteparo móvel. Usamos uma lente convergente de dis-



Figura 15: Caixa, furos e anteparo. Foto: Os autores.

tância focal de 1,70 m, para que as pessoas pudessem entrar no quarto e ver a projeção de frente para o anteparo, da mesma forma que em uma aula com *datashow*. Um ponto importante a ser observado é que a sala deve estar totalmente vedada, e a única entrada de luz seja através da lente.

A câmara que pode parecer difícil de construir foi a que produziu as imagens mais fantásticas: a câmara com lente e um espelho a 45°.

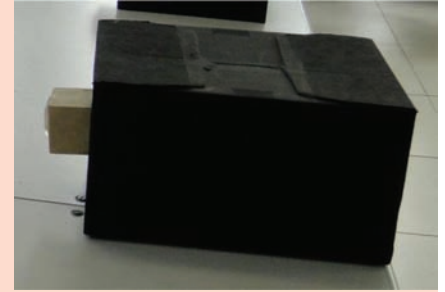


Figura 16: Câmara escura. Foto: Os autores.

Câmara escura de projeção utilizando lente e espelho (Figs. 17, 18 e 19)

Material

- Duas caixas de papelão (30,0 cm x 19,0 cm x 20,0 cm)
- Tinta guache preta
- Pincel
- Placa de isopor
- Papel vegetal
- Cola de isopor
- Capa de tecido para bloquear a luz no observador
- Lente convergente de distância fo-

cal 50,0 cm (+ 2,0 di)

- Espelho plano

São usadas duas caixas, pois é necessário tentar produzir um efeito “gaveta”, em que uma caixa pode deslizar por dentro da outra. Isso é importante para regular o foco da imagem formada no anteparo de papel vegetal. Outra possibilidade é colocar no lugar do papel vegetal um vidro transparente para que depois o papel vegetal seja colocado por cima, oferecendo-se a possibilidade de desenhar o objeto mostrado pela câmara.

Essa câmara fez parte do “circuito” que montamos dentro da mostra, pois primeiro os visitantes interagiam com as câmeras de projeção direta, vendo a imagem de cabeça para baixo, e em seguida faziam a observação na câmara com espelhos. Dessa forma, ficavam curiosos em saber como as imagens feitas por lentes podem ser invertidas ou não. Assim, abríamos as caixas e mostrávamos as montagens, discutindo os efeitos ópticos de lentes e espelhos. As Figs. 20, 21 e 22 mostram um pouco dessa interação e da formação das imagens na câmara com espelho.



Figura 17: Cortes de isopor colados ao fundo do espelho para garantir o ângulo de 45°.



Figura 18: Câmara sem a colocação do anteparo, mostrando o espelho.



Figura 19: Câmara escura montada.



Figura 20: Objeto a ser observado.



Figura 21: Visitante fazendo a observação.
Foto: Jacqueline Costa.

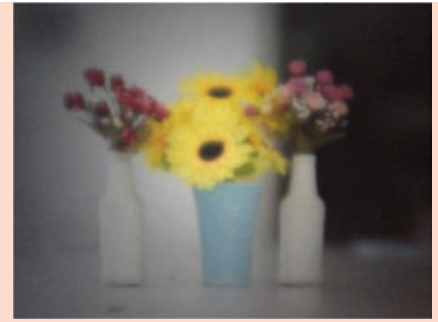


Figura 22: Foto tirada durante observação na câmera.

A exposição continha vários instrumentos: câmera escura, câmera clara, câmeras fotográficas e objetos relacionados com a produção de imagens (Figs. 23, 24). A atividade *Os Mestres da Luz* foi finalizada com uma pequena palestra com a tese de Hockney, basicamente explorando os pontos deste artigo (Fig. 25).



Figura 23: Mostra Ciência e Arte.



Figura 24: Mostra Ciência e Arte. Foto: Jacqueline Costa.



Figura 25: Palestra. Foto: Jacqueline Costa.

Conclusão

Promover trabalhos interdisciplinares é um constante desafio. Contudo, em vários episódios da história da ciência é possível observar que pessoas de diferentes áreas do saber trocaram conhecimentos técnicos e teóricos, muitos até mesmo produziram trabalhos conjuntos. O relato de experiência aqui descrito explorou uma das vertentes das relações entre ciência e pintura, a vertente técnica. É possível também trabalhar a ciência e a pintura a partir da vertente histórico-social, como é descrito no trabalho *Ciência e Arte: Relações Improváveis?* [2]. Podemos também utilizar filmes como *Moça com Brinco de Pérola* (2003), que retrata a cidade de Delft, na Holanda, e a relação do pintor Vermeer

com a pintura e o mecenato das artes. O trabalho *A utilização da HFC no ensino de física a partir de representações artísticas* [8] retrata como atividades que relacionam a pintura ao contexto histórico-social podem fazer parte das aulas de física e também das avaliações da disciplina, evidenciando para o aluno que a interdisciplinaridade não é somente uma “brincadeira” com as linhas de trabalho, mas faz parte do corpo de atividades para desenvolver as habilidades e competências dos alunos em um mundo que se comunica.

Mesmo fazendo parte de uma atividade que envolveu a escola na forma de um evento, os elementos aqui descritos podem fazer parte de um trabalho dentro das aulas de física sobre os instrumentos

ópticos. A partir das descrições no corpo do texto, podemos perceber que os alunos são capazes de fabricar vários dos instrumentos com materiais de baixo custo, ficando o professor com a função de auxiliá-los com a parte teórica. Como no nascimento da ciência moderna, colocam-se a teoria e a prática em busca de um melhor entendimento da natureza.

Agradecimento

À Diretoria de Extensão e Relações Comunitárias do IF-Sudeste MG, Campus Juiz de Fora e aos colegas José Honório Glanzmann, Jacqueline Rodrigues Gonçalves da Costa e Elena Konstantinova, por confiarem na atividade realizada no projeto Ciência e Arte.

Referências

- [1] J. Ryder, *Studies in Science Education* **36**, 1 (2001).
- [2] J.C. Reis, A. Guerra e M. Braga, *História, Ciências, Saúde - Manguinhos* **13**(suppl), 71 (2006).
- [3] I. Galili and B. Zinn, *Science & Education* **16**, 441 (2007).
- [4] D. Hockney, *O Conhecimento Secreto: Redescobrimos as Técnicas Perdidas dos Grandes Mestres* (Cosac & Naify, São Paulo, 2001), v. 1, p. 298.
- [5] A. Shapiro, in: *Inside the Camera Obscura: Optics and Art under the Spell of the Projected Image*, edited by Lefèvre, Wolfgang (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, 2007), p. 75-94.
- [6] P. Steadman, *Vermeer's Camera: Uncovering the Truth Behind the Masterpieces* (Oxford University Press, New York, 2001).
- [7] K. Groen, in: *Inside the Camera Obscura: Optics and Art under the Spell of the Projected Image*, edited by Lefèvre, Wolfgang (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, 2007), p. 195-2010.
- [8] M.C. Alcantara e W.T. Jardim, in: *Proceedings III Conferencia Latinoamericana del International, History and Philosophy of Science Teaching Group IHPST*, Santiago, 2014, p. 164-172.

Ilusões de óptica nas aulas de física do nível médio: Aplicação e resultados

David Henrique da Silva Araujo

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail:

araujo.davidhenrique@gmail.com

Leonardo Rodrigues de Jesus

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: leo_cp2d@hotmail.com

Almir Guedes dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, RJ, Brasil

Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo, SP, Brasil

E-mail: almirdgs_if@yahoo.com.br

Vitorvani Soares

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: vsoares@if.ufrj.br

Apresentamos um relato sobre a aplicação da ilusão de óptica como uma ferramenta educacional, realizada com os alunos do nível médio técnico de um instituto federal fluminense. O trabalho foi realizado a partir de um roteiro didático elaborado por monitores sob a orientação do professor da turma. Ele foi aplicado em uma aula regular da turma e foi apresentado após as atividades experimentais e exposições teóricas realizadas sobre óptica geométrica. As ilusões de óptica discutidas estão relacionadas à reflexão e à refração da luz, incluindo a formação de imagens anamórficas, às projeções em 3D, aos truques com espelhos planos, às miragens e à “garrafa invisível”. A análise das respostas dos estudantes às perguntas incluídas em um questionário apresentado no mesmo roteiro revelaram que os alunos foram capazes de descrever os fenômenos observados com base nos conceitos científicos discutidos previamente.

Introdução

O Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência, PIBID, é um programa que incentiva a integração entre a universidade (professores orientadores e monitores licenciandos) e a escola pública (professor supervisor), incrementando a experiência profissional dos licenciandos desde os períodos iniciais da sua graduação e promovendo a realização de um ensino público de melhor qualidade nas escolas públicas parceiras [1–3]. O PIBID/UFRJ-Física é um subprojeto do PIBID realizado em parceria com os professores e alunos do curso de licenciatura em Física da UFRJ, e uma de suas características é a realização de atividades para serem aplicadas no horário regular das aulas por meio de roteiros instrucionais que envolvam experimentos, história da ciência e artes ou outras abordagens alternativas à apresentação tradicional da disciplina. A elaboração dessas atividades é feita pela atuação da tríade formada por licenciandos, supervisor e orientador, sendo os licenciandos e supervisores os principais responsáveis pela aplicação dos roteiros didáticos em sala de aula [4, 5].

As motivações para a criação do material discutido neste artigo surgiram da necessidade de incluir um novo roteiro que tratasse dos fenômenos de reflexão e refração da luz e que também avaliasse o quanto foi retido pelos alunos em relação aos conteúdos discutidos em aulas anteriores. Outro elemento motivador foi a carência de material instrucional, em língua portuguesa, que tratasse dos conceitos de ilusão de óptica em nível médio, apesar de o tema ser atrativo para alunos

dessa faixa etária.

A utilização de ilusões de óptica na educação é recente, com suas primeiras aplicações datadas da década de 1970 com Vannan [6] e Ward [7, 8]. Segundo esses autores, as ilusões de óptica apresentam não somente um valor artístico, mas também um valor educacional ao permitir que os alunos explorem sua capacidade investigativa para interpretar esses fenômenos e sejam capazes de descrever os conceitos de natureza óptica associados às ilusões.

Os trabalhos de Postiglione [9], Brandes [10], Edge e Jones [11] e Medeiros [12] dão continuidade ao estudo das ilusões de óptica e suas aplicações nas áreas de matemática e óptica geométrica. Ramos e Souza [13], Parisoto e Hilger [14] observam que as ilusões de óptica levam desconforto ao aluno ao serem observadas por ele e, ao mesmo tempo, o estimulam a procurar uma explicação para o fenômeno considerado.

No Brasil, algumas atividades envolvendo ilusões de óptica podem ser encontradas em livros didáticos de física para o

Ensino Médio como, por exemplo, nos livros de Barreto e Xavier [15] e Bonjorno e Alves [16]. Essas referências também nos serviram como fonte para a preparação de algumas atividades desenvolvidas em nosso roteiro didático,

além das atividades pertinentes encontradas em artigos em revistas de ensino de física.

A partir de tais apontamentos, elaboramos um roteiro didático composto de cinco atividades, todas utilizando fenômenos de reflexão e refração da luz. O objetivo principal do roteiro é apresentar e consolidar os conceitos de óptica geométrica em uma aula regular de física através

O PIBID/UFRJ-Física tem como uma de suas características a realização de atividades para serem aplicadas no horário regular das aulas por meio de roteiros instrucionais que envolvam experimentos, história da ciência e artes ou outras abordagens alternativas

de atividades envolvendo a criação de diferentes ilusões de óptica e a sua análise.

Descrição e aplicação das atividades

O roteiro elaborado e aplicado na aula consiste de cinco atividades, com os seguintes títulos: “Imagens anamórficas em espelho cilíndrico”; “Imagem projetada em 3D”; “Cofre cúbico”; “Miragens” e “Copo da invisibilidade”. Essas atividades foram aplicadas posteriormente às aulas expositivas e às aplicações dos roteiros introdutórios de história da luz e de experimentos de reflexão e refração da luz, sendo recomendado que elas sejam realizadas após os alunos conhecerem tais fenômenos em óptica geométrica. As atividades foram feitas com grupos de três ou quatro alunos em duas turmas de cerca de 30 alunos, com duração de aproximadamente 90 minutos, durante o primeiro e o segundo semestres letivos de 2015 no campus Nilópolis do IFRJ, uma das escolas parceiras onde é realizado o subprojeto PIBID/UFRJ-Física.

As atividades abordam temas lúdicos mediante questões do cotidiano e curiosidades que podem ser explicadas do ponto de vista científico, e suas explicações são construídas pelos alunos ao responderem às questões do roteiro. Os materiais utilizados são em grande maioria de baixo custo, e alguns deles foram obtidos no laboratório da escola.

Anteriormente à primeira atividade, introduzimos os alunos a uma breve explicação sobre o que é uma ilusão de óptica e, junto com a explicação, apresentamos a ilustração representada na Fig. 1.



Figura 1: *My Wife and My Mother-in-Law*. Ilustração feita em 1915 para a revista americana *Pluck* pelo cartunista W.E. Hill, a partir do desenho original realizado em 1888 [17].

Essa ilustração, denominada *Young Girl-Old Woman Illusion* ou *My Wife and My Mother-in-Law*, foi originalmente criada por um cartunista anônimo, em 1888, para a propaganda de uma empresa alemã da época [18]. Posteriormente, em 1915, o cartunista William Ely Hill produziu a ilustração indicada na Fig. 1 para a revista de humor americana *Pluck*, onde ela ganhou popularidade e é conhecida até hoje.

A primeira atividade consiste na reflexão em espelhos cilíndricos. Inicialmente entregamos a cada grupo de alunos algumas imagens anamórficas, uma delas indicada na Fig. 2a, e pedimos que eles as observem e tentem dizer o que elas representam.

Após as tentativas de explicação pelos alunos, entregamos a eles um espelho cilíndrico, cujo material pode ser um cano de alumínio ou um cano espelhado, sendo importante que o espelho tenha uma boa reflexão. Com o espelho em mãos, eles o posicionam de forma a ficar no centro do “círculo” formado pela imagem e conseguem, então, observá-la em sua forma “regular.” Além de imagens anamórficas, também é pedido aos estudantes que peguem objetos comuns para serem refletidos pelo espelho e, a partir disso, questiona-se qual fenômeno físico foi percebido pelo aluno. Nessa pergunta é desejável que o aluno não responda apenas que é a reflexão da luz, e sim como ela se manifesta.

A segunda atividade aborda brevemente a holografia, a partir de exemplos. Para tal, utilizamos uma associação de espelhos côncavos, um de frente para o outro e um deles com um furo circular. Entre

eles colocamos um objeto para ser refletido, de modo que acima do furo é percebida uma imagem real do objeto refletido (Fig. 2b). Foi informado aos alunos para que ficassem em certa posição antes que o furo no espelho fosse descoberto, de forma que eles pudessem ver com clareza a imagem real. Observamos certa surpresa por parte dos alunos ao verem a imagem surgir logo após o furo ser descoberto. Em seguida, solicitamos a um dos alunos que ele tocasse na imagem que ele estava

A atividade envolvendo ilusão de óptica usa um tema lúdico do cotidiano permeado por abordagem científica, onde as conclusões são construídas pelos alunos ao responderem questões do roteiro

vendo, e ele constatou que não havia algo palpável. O material permaneceu com os alunos para que eles observassem diferentes imagens e assim construíssem suas próprias conclusões acerca dos

fenômenos envolvidos no experimento. Na sequência, perguntamos a eles como aquela imagem é formada e quais as suas características em termos de tamanho, orientação e natureza.

A terceira atividade foi realizada com um brinquedo encontrado em lojas, denominado “cofre mágico” e representado na Fig. 3. O cofre tem formato cúbico, suas paredes internas possuem geralmente alguma ilustração, uma das suas faces é transparente e dentro do cofre, posicionado a 45°, há um espelho plano que produz a sensação de profundidade e faz o cofre parecer vazio.

Posicionando o cofre de forma que os alunos não fiquem mexendo, pedimos que eles coloquem uma moeda no cofre. Ao depositarem a moeda, ela bate em algo, que parece ser o fundo, mas não aparece para os alunos que estão olhando a face transparente do cofre. A maioria dos alunos tem a sua curiosidade aguçada e

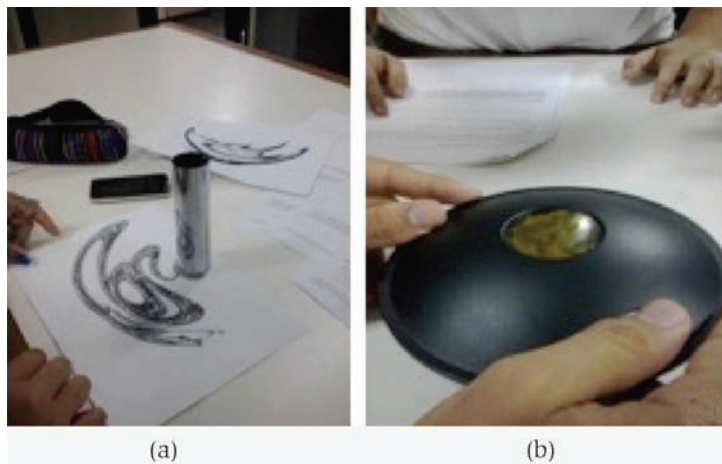


Figura 2: Duas atividades desenvolvidas: (a) A imagem anamórfica sobre o papel é reconstruída sobre a superfície do cilindro; e (b) na projeção 3D, a imagem do objeto (um “sapiinho” de plástico) no interior dos espelhos aparece acima do orifício.



Figura 3: O cofre “mágico” sendo utilizado na terceira atividade.

eles começam a se questionar por que a moeda não apareceu. No roteiro é perguntado o que aconteceu quando os alunos puseram a moeda e por que ela não apareceu no fundo do cofre.

A quarta atividade aborda o tema de formação de miragens que podem ser geradas em estradas e desertos e contextualizamos essa introdução com um pequeno vídeo do clássico desenho animado *Speed Racer* [19], em que os personagens

se perdem no deserto e começam a ver a miragem de um oásis e, de forma cômica, mergulham em um pequeno lago até perceberem que era apenas areia (Figs. 4a e 4b).

Explicamos então que o desenho não retrata fielmente a realidade, embora as miragens existam, e as exemplificamos com a apresentação de fotos e vídeo reais. Em uma delas, pedimos aos alunos que observem e expliquem o que há de diferente na figura.



Figura 4: Trechos do desenho animado *Speed Racer*, retratando de forma errada dois personagens do desenho nadando na miragem de um lago (a) em um deserto (b).

A quinta e última atividade é conhecida em livros didáticos como “a garrafa invisível”. Entregamos aos alunos dois béqueres de tamanhos diferentes, de forma que um encaixe no outro com folga, e, então, depositamos glicerina, aos poucos, no béquer maior, até cerca de metade do recipiente. Após essa etapa, é pedido que os alunos ponham o béquer menor dentro do maior e observem o “desaparecimento” da imagem do béquer menor (Fig. 5).

Os alunos inicialmente estranham, mas começam a manusear o aparato e percebem que na verdade ele não ficou invisível, mas seu tamanho apenas parece maior por conta da refração, como ressaltam Silva e Laburú [20]. Após a experiência, é questionado o que aconteceu com o béquer e quais fenômenos são responsáveis pela “invisibilidade” do objeto, sendo, então, pedido que apresentem uma explicação, evitando apenas a resposta direta.

Análise das respostas dos alunos

Nesta seção apresentamos uma análise de algumas respostas dos alunos ao questionário apresentado no roteiro. Vale

A temática do roteiro apresentado gerou interesse de toda a turma, que o realizou de forma sequencial, com poucas dificuldades, otimizando assim o tempo e o trabalho do professor e dos monitores ao aplicarem a atividade

ressaltar que esse tipo de avaliação não foi individual, visto que as respostas foram dadas em grupo, em um total de oito grupos. As notas dadas nas atividades foram em forma de porcentagem, variando entre 79% a 96% de respostas corretas, com uma média geral de acerto de aproximadamente 89%, apontando um alto aproveitamento e entendimento dos alunos sobre as diferentes atividades. Lembramos que cada atividade tem como objetivo atrair a atenção dos alunos e observar o quanto eles entenderam das aulas expositivas e das atividades anteriores sobre os fenômenos tratados.



Figura 5: Aplicação da atividade “A garrafa invisível” em sala de aula.

A temática do roteiro gerou interesse de toda a turma, que o realizou de forma sequencial, com poucas dificuldades, otimizando assim o tempo e o trabalho do professor e dos monitores ao aplicarem a atividade. Abaixo serão expostas algumas respostas de alunos a perguntas realizadas no decorrer do roteiro, mas nenhuma delas sem identificação, como usual, e sempre que necessário cada resposta é comentada logo em seguida.

Na primeira atividade foi perguntado aos alunos: “Qual é o fenômeno físico visto nessas experiências?”. Separamos aqui três respostas dadas por grupos com notas gerais diferentes.

Grupo A: Reflexão da luz. A imagem fica normal se for refletida num espelho plano, mas neste caso, ela se distorce devido à curvatura do espelho.

Grupo B: O fenômeno de reflexão.

Grupo C: Reflexão, devido à curvatura do espelho a imagem reflete de forma com que consigamos vê-la diferente.

O grupo A acertou essa questão por completo, por conta dos termos utilizados de forma correta, além de fazer menção à curvatura do espelho, que distorce a imagem de qualquer objeto. O grupo B deixou a resposta incompleta porque não utiliza o termo “reflexão da luz”, e por não apresentar nenhum exemplo ou representação que complete sua explicação. O grupo C também utilizou de forma incompleta o termo para o fenômeno e empregou palavras que não auxiliam o entendimento de sua resposta, como a palavra “diferente”, que talvez seja uma tentativa do aluno para explicar como é formada a imagem no espelho cilíndrico. A pergunta é relativamente fácil e a maioria dos grupos não apresentou dificuldades em respondê-la, mas os termos utilizados foram impor-

Apêndice: Roteiro “Ilusões de Óptica”

Neste Apêndice apresentamos parte do roteiro “Ilusões de Óptica” usado em sala de aula.

Introdução

Ilusões de óptica são geralmente imagens que confundem nossa mente, gerando falsas ideias e enganando quem olha à primeira vista. A imagem da Fig. 6 é uma famosa ilusão de óptica feita pelo cartunista W.E. Hill, em 1915. Nela pode-se ver uma senhorita bem arrumada olhando de perfil para longe, mas observando com atenção veremos também uma velha olhando para o chão [21].



Figura 6: Ilusão de óptica. É uma jovem ou uma idosa?

Atividade 1: Imagens anamórficas em espelho cilíndrico

Estudamos anteriormente a imagem formada por espelhos de diversos formatos, incluindo os planos, côncavos e convexos. Agora vamos analisar as imagens formadas por espelhos cilíndricos, para o que serão utilizadas figuras distorcidas, denominadas imagens anamórficas (Fig. 7).



Figura 7: Imagem refletida por espelho cilíndrico [22].

Materiais utilizados

- Espelho cilíndrico

- Folhas com figuras distorcidas
- Objetos comuns

Questões

1. O que vemos no espelho cilíndrico quando o posicionamos na frente de objetos comuns e imagens distorcidas?
2. Qual é o fenômeno físico visto nessas experiências? Classifique a imagem em sua natureza, orientação e tamanho.

Atividade 2: Imagem projetada em 3D

Dentre os tipos de espelhos estudados, apenas com os espelhos planos analisamos a relação entre o número de imagens formadas e o ângulo de abertura entre os espelhos associados. Em outras associações, é possível criar, por exemplo, imagens holográficas, que vocês já devem ter assistido em filmes e shows (Fig. 8). Vamos analisar o que ocorre na prática, ao associarmos dois espelhos côncavos um por cima do outro, sendo que o de cima apresenta um furo circular centrado no vértice.



Figura 8: Show do Michael Jackson produzido por holograma em Maio de 2014 [23].

Materiais utilizados

- Par de espelhos côncavos justapostos
- Um objeto pequeno

Questões

3. Passe a mão no “sapinho” sem inseri-la no buraco e, em seguida, utilize seus conhecimentos sobre formação de imagens para explicar o que ocorreu.
4. “Abra” os espelhos côncavos e, então, faça um esboço do diagrama de raios e caracterize a imagem formada em termos de tamanho, orientação e natureza.

Atividade 3: Cofre cúbico

Existem lojas no Rio de Janeiro que vendem cofres de diversos tamanhos e formatos, para depositarmos moedas e notas. É provável que o cofre mais conhecido seja o que tem forma de porquinho. Porém, o cofre que trouxemos tem

forma de cubo, sendo uma de suas faces transparente.

Materiais utilizados

- Cofre cúbico
- Moedas

Questões

5. Sem mexer no cofre, explique o que aconteceu com as moedas que foram inseridas nele.
6. Porque vemos o cofre vazio? Qual a propriedade responsável por conseguirmos ver o cofre perfeitamente cúbico?

Atividade 4: Miragens

Você já deve ter assistido, em desenhos animados ou na TV, cenas no deserto onde o personagem vê um oásis com um lago e se joga na água, sem perceber que se trata de uma ilusão (Fig. 9). Apesar de exagerado nesses casos, essa ilusão ocorre na realidade, como aconteceu há pouco tempo na China, e é tão impressionante quanto nos desenhos animados.

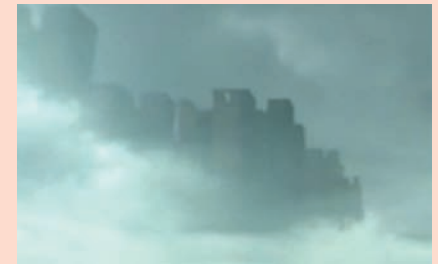


Figura 9: Miragem de uma cidade vista no céu da cidade de Foshan, China, em Outubro de 2015 [24].

Materiais utilizados

- Vídeo (miragem em desenho animado)
- Vídeo de uma miragem real
- Régua

Material de apoio

- Assista o vídeo *Speed Racer Classic - Season 1 - Episode 15 - The desperate desert race part 2* (10:38 min até 12:50 min)
- Assista o vídeo *Giant Floating City Seen Over China* (Duração: 41 s)

Questões

7. Observe atentamente a Fig. 10. Há algo de diferente nela? O que parece ser? Responda qual é o fenômeno físico presente na figura e explique por que ele ocorre.

8. Faça um pequeno esboço que exemplifique sua resposta para a questão anterior.



Figura 10: Árvores no deserto da Namíbia, na região de Deadvlei [25, 26].

Atividade 5: Copo da invisibilidade

A invisibilidade é tema muito abordado em filmes e desenhos animados, como em *Harry Potter* e *Os Incríveis*. Na área da física, muitos estudos já foram realizados sobre esse assunto, os quais permitem criar materiais que reproduzem esse efeito. Se utilizarmos conhecimentos sobre alguns fenômenos físicos básicos, é possível criar um efeito similar à invisibilidade, como faremos a seguir.

Materiais utilizados

- Béquero
- Glicerina
- Objeto a ser imerso

Questões

9. O que aconteceu com o objeto imerso no béquer? Se girar ou virar o objeto imerso, é possível vê-lo? Explique por que.

10. Qual foi o fenômeno estudado que pode ser a causa da “invisibilidade” do objeto? Explique.

tantes para avaliar suas respostas.

Na segunda atividade foi feito aos alunos o seguinte pedido: “Pegue o ‘objeto’ com a mão, mas sem inseri-lo no buraco, e, em seguida, utilize seus conhecimentos sobre espelhos côncavos para explicar o que ocorreu”. Apresentamos algumas respostas dos grupos a seguir:

Grupo A: Não foi possível pegar (o objeto), porque era uma imagem formada pelos raios que refletem em um espelho e que se cruzam quando voltam para o outro.

Grupo B: A imagem 3D formada é derivada do encontro dos raios a partir dos raios de repetidas reflexões de raios luminosos dentro dos espelhos justapostos.

O grupo A respondeu bem à pergunta, utilizando da melhor forma os termos, mesmo com o final da frase um pouco confuso. O grupo B acertou, apesar de se complicar na hora de explicar, utilizando o mesmo termo repetidas vezes. Na terceira atividade foi solicitado aos alunos que “Sem mexer no cofre, explique o que aconteceu com as moedas que foram inseridas nele”. Abaixo estão as respostas de alguns grupos.

Grupo A: As moedas ficam no espelho diagonal e não no fundo do cofre. Esse espelho faz parecer que o papel de parede cobre todo o cubo, pois gera uma imagem virtual.

Grupo B: Um espelho corta a caixa diagonalmente refletindo as listras internas que reveste a parede da caixa, deixando ela parecer vazia. Ao colocar as moedas, estas correm por trás do espelho, não aparecendo na caixa.

Os grupos A e B, apesar de usarem termos diferentes e explicarem de forma própria, acertaram a questão ao informar que existe um espelho e que este reflete as paredes do cofre, fazendo-o parecer vazio.

Na quarta atividade foi realizada a seguinte pergunta: “Há algo de diferente com a figura? Se sim, o quê?”. A seguir,

selecionamos algumas respostas dadas pelos grupos.

Grupo A: Há. A agitação molecular que ocorre devido à alta temperatura gera refração, que por sua vez nos dá uma imagem da árvore embaixo da própria árvore. Nosso cérebro relaciona a refração à presença de água.

Grupo B: Sim. Parece que as árvores estão sendo refletidas numa espécie de lago.

Grupo C: Sim, há um reflexo das árvores na areia do deserto.

O grupo A responde de forma completa a pergunta, não se abstendo de detalhar o que está sendo visto, o que nos auxilia na avaliação. O grupo B apresenta uma resposta vaga e pouco científica. A resposta do grupo C também apresenta uma resposta incompleta e ainda afirma que as árvores estão sendo refletidas pela areia, um material opaco que não reflete objetos.

Finalmente, na quinta atividade, pergunta-se “Qual foi o fenômeno estudado que pode ser a causa da invisibilidade do objeto? Explique.” A seguir apresentamos algumas respostas dos grupos para a pergunta.

Grupo A: Refração. Quando os raios refratam da glicerina para o ar, eles sofrem um desvio de trajetória, dando a ilusão que o objeto aumentou de tamanho.

Grupo B: O fenômeno estudado foi o da refração. Quando dois corpos estão cheios de glicerina, não é possível ver o corpo menor, pois a luz não muda de meio deixando assim a impressão que o corpo imerso na glicerina fica invisível.

Grupo C: Refração, pois os raios que

partem do objeto para os olhos desviam ao passar pelo meio da glicerina, que por sua vez ampliam o objeto por conta do maior ângulo de refração.

Os grupos A e C respondem à pergunta corretamente, apesar de o grupo A detalhar melhor como ocorre o fenômeno. O grupo B erra a questão, pois há sim refração entre cada meio, inclusive entre a glicerina e o vidro, de modo que a resposta deles se assemelha à resposta que alguns livros já deram sobre essa experiência, mas que já foram refutadas por Silva e Laburú [20].

Os três grupos foram escolhidos por meio de sua nota geral, sendo o grupo A o de maior nota, o grupo B com uma nota intermediária e o grupo C com menor nota. Não foram comentadas aqui todas as perguntas realizadas, e as perguntas foram selecionadas por atividade e pela diferença

entre as respostas dos grupos, de modo a gerar uma melhor análise da eficiência das atividades como auxílio didático.

Considerações finais

As atividades apresentadas neste trabalho foram criadas e elaboradas como parte da atuação do grupo de licenciandos e professores do subprojeto Física do PIBID/UFRJ atuante no IFRJ-Nilópolis. O trabalho foi realizado com duas turmas do quarto período do curso de Controle Ambiental, a partir de um roteiro didático elaborado pelo grupo. O trabalho foi aplicado em uma aula regular das turmas, respeitando-se o conteúdo programático de física para esse curso. Essas atividades foram analisadas pelos próprios monitores com o auxílio do professor supervisor, após a aplicação nas turmas. O tema ilusões de óptica é muitas vezes

O trabalho realizado na turma mostrou que o potencial educacional deste tema é grande, não só por atrair a atenção dos alunos para uma disciplina considerado difícil mas também por permitir explicar de forma prática a diferentes fenômenos da óptica geométrica no seu cotidiano

ignorado pelos professores de física. Entretanto, o trabalho realizado no IFRJ mostra que o potencial educacional desse tema é grande, não só por atrair a atenção dos alunos para uma disciplina considerada difícil mas também por

permitir explicar de forma prática diferentes fenômenos da óptica geométrica no seu cotidiano. Vale ressaltar que além de o tema ser instigante, construir uma atividade para um aluno realizar é gratificante do ponto de vista

educacional. Observamos que o aluno se sente participante da construção de seu próprio conhecimento, supera a passividade de uma aula puramente expositiva e assume um papel atuante na sua própria educação.

Referências

- [1] A.G. dos Santos *et al.*, in: *Resumos do XI Conferência Interamericana sobre Educação da Física*, Guayaquil, Equador, 2013.
- [2] J.J.F. de Sousa, D.M. Vianna e L.F. Moreira, in: *Resumos do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física*, São Paulo, 2013.
- [3] J.J.F. de Sousa *et al.*, in: *Resumos do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Manaus, 2011.
- [4] A.G. dos Santos *et al.*, in: *Resumos do II Congresso Internacional de Educação em Ciências*, Foz do Iguaçu, 2014.
- [5] A.G. dos Santos *et al.*, in: *Resumos do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física*, São Paulo, 2013.
- [6] D.A. Vannan, *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas* **10**, 26 (1973).
- [7] A. Ward, *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas* **10**, 42 (1973).
- [8] A. Ward, *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas* **12**, 19 (1975).
- [9] R.A. Postiglione, *The Clearing House* **55**, 314 (1982).
- [10] L.G. Brandes, *School Science and Mathematics* **83**, 149 (1983).
- [11] D. Edge e E.R. Jones Jr., *Physics Teacher*. **22**, 591 (1984).
- [12] A. Medeiros, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **23**, 329 (2006).
- [13] P.B. Ramos e R.R. de Souza, *Física na Escola* **4**(1), 25 (2003).
- [14] M.F. Parisoto e T.R. Hilger, *Física na Escola* **12**(2), 48 (2011).
- [15] B. Barreto e C. Xavier, *Física Aula por Aula: Mecânica dos Fluidos, Termologia, Óptica – 2º Ano* (FTD, São Paulo, 2013) 2ª ed., v. 2.
- [16] J.R. Bonjorno, C.M. Ramos e L.A. Alves, *Física: Termologia, Óptica, Ondulatória – 2º ano* (FTD, São Paulo, 2013) 2ª ed., v. 2.
- [17] W.E. Hill. *My Wife and My Mother-in-Law*, 1915. Disponível em <http://www.loc.gov/pictures/item/2010652001/>. Acesso em 4/2017.
- [18] E.W. Weisstein, in: *Mathworld – A Wolfram Web Resource* (2011). Disponível em <http://mathworld.wolfram.com/YoungGirl-OldWomanIllusion.html>. Acesso em 4/2017.
- [19] J. Toriyumi, *Speed Racer*, 1967. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=tsZnpctqfuM>. Acesso em 4/2017.
- [20] O.H.M. da Silva e C.E. Laburú, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **21**, 111 (2004).
- [21] SóFísica, *Ilusões de Óptica*, 2014. Disponível em <http://www.sofisica.com.br/%20conteudos/Otica/Instrumentosoticos/ilusaodeoptica.php>. Acesso em 4/2017.
- [22] A.G. dos Santos, acervo pessoal, 2014.
- [23] Diariorio24h, *Holograma do cantor Michael Jackson*. 2014. Disponível em <http://www.diariorio24horas.com.br/imgs/artigos/20-05-2014-michael-jackson-holograma-2.jpg>. Acesso em 4/2017.
- [24] YouTube, *Giant floating city seen over China*. 2015. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=oC3Exk65ZAA>. Acesso em 4/2017.
- [25] A. Gaspar, *Compreendendo a Física: Ondas, Óptica, Termodinâmica* (Ática, São Paulo, 2013) 2ª ed., v. 2.
- [26] M. McCaffrey, in: *A Mirage, Sossusvlei, Namibia*. 2016. Disponível em <http://www.nomadic-by-nature.com/sand-skrit-dunes-sossusvlei-namibia/sossusvlei-namibia-17-2/>. Acesso em 4/2017.

Luz, cor e visão: Uma proposta de ensino por investigação



Alexandre Campos

Unidade Acadêmica de Física,
Universidade Federal de Campina
Grande, Campina Grande, PB, Brasil
E-mail:
alexandre.campos@df.ufcg.edu.br

Wellington Batista de Sousa

E.E. Miguel Munhoz Filho, Diretoria
Sul 2, SEE, SP, Brasil
E-mail: modernaif@gmail.com

Tadeu Nunes Souza

E.E. Profa. Fanny Monzone Santos,
Diretoria Osasco, SEE, SP, Brasil
E-mail:
tadeu.nunes.souza@terra.com.br

Introdução

O objetivo deste artigo é relatar uma experiência ocorrida em três escolas da rede pública do Estado de São Paulo. O conteúdo tratado foi a interação entre luzes e pigmentos, desenvolvido em três atividades: 1) interação entre luz e pigmento; 2) interação entre luz e luz e 3) interação entre pigmento e pigmento. A abordagem didático-pedagógica foi a de ensino por investigação, através do desenvolvimento e aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI).

A SEI desenvolvida tinha por finalidade responder a quatro questões: (a) Como deslocar o aluno de uma posição passiva, própria de aulas expositivas, para uma posição ativa? (b) Como problematizar uma situação de ensino que privilegie a apreensão do conceito *cor* como resultado da interação entre luz-pigmento e não como uma propriedade, intrínseca, do pigmento do corpo? (c) Que tipo de atividade propor e como propor? (d) Como sistematizar o problema inicial e a atividade proposta, de modo que a discussão não seja descharacterizada durante o processo de ensino-aprendizagem?

Para responder a tais questões, uma SEI deve considerar aspectos epistemológicos do fazer ciência e aspectos cognitivos. Para Carvalho [1], uma SEI se fundamenta em paradigmas piagetianos e vygostianos:

Uma SEI deve ter algumas atividades-chave: na maioria das vezes, inicia-se com um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduza os alunos no tópico desejado e ofereça condições

para que pensem e trabalhem as variáveis do fenômeno científico central do conteúdo programático [1, p. 9].

A espinha dorsal de uma SEI deve conter: (a) etapa de distribuição do material experimental e a proposição do problema pelo professor; (b) etapa da resolução do problema pelos alunos; (c) etapa de sistematização dos conhecimentos elaborados nos grupos e, finalmente, (d) etapa de escrever e/ou desenhar.

O público-alvo para a aplicação da SEI é o que frequenta a rede pública de ensino, na modalidade regular ou ensino de jovens e adultos. De forma geral, os alunos dessas escolas são de baixa renda e compatibilizam o trabalho com os estudos, conforme constatado durante as aplicações da SEI nas escolas dos professores-autores.

Os professores-autores que elaboraram e aplicaram essa SEI fazem parte do grupo de pesquisa do LaPEF/FEUIP e são docentes em escolas públicas da rede pública do Estado de São Paulo, no Ensino Médio, lecionando a disciplina Física. No LaPEF, esse grupo de professores participa de pesquisas relacionadas à Introdução da Física Moderna e Contemporânea (FMC) em sala de aula e no desenvolvimento de atividades e sequências de ensino, sob a orientação de professores e

pesquisadores da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

O público-alvo para a aplicação da SEI é o que frequenta a rede pública de ensino, na modalidade regular ou ensino de jovens e adultos. De forma geral, são pessoas de baixa renda e compatibilizam o trabalho com os estudos, conforme constatado durante as atividades nas escolas realizadas pelos professores

As atividades

A fim de discutirmos o conteúdo, desenvolvemos três atividades que tornassem possível problematizar a cor como interação entre pigmento e luz. Cada uma delas apresentava um problema explícito ou

O artigo relata uma experiência bem sucedida de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), realizada por professores de Escola Pública. Foram trabalhados conceitos de luz, pigmentos e suas interações. O público-alvo era composto de alunos e alunas do Ensino Médio.

implícito. A primeira delas foi a observação da caixa de cores; a segunda, consistiu na mistura de pigmentos; e a terceira na mistura de luzes. Os materiais utilizados foram: a caixa de cores (Anexo 1), guache (verde, vermelho e azul) e lâmpadas coloridas (verde, vermelho e azul). Cada uma das etapas da SEI está descrita a seguir.

Etapa 1 da SEI: distribuição do material e a proposição do problema

O objetivo dessa etapa é distribuir o material para o experimento/observação e a proposição do problema. O primeiro passo é organizar os alunos em pequenos grupos de três ou quatro pessoas. Cada uma das atividades tinha um pequeno problema a ser pensado. Esses problemas, assim como cada uma das atividades, podem ser trabalhados individualmente. Além de cada um dos problemas, de cada uma das atividades, há o problema principal (interação entre luz e pigmento) que permeia e direciona todas as atividades. O problema principal é tratado de maneira bastante sutil, sem que o coloque de maneira explícita. A atuação do professor é extremamente importante, elaborando questionamentos a partir das observações, incentivando a interação entre os alunos, levando-os à construção de hipóteses. Destaca Sasseron [2, p. 139] que:

As discussões entre os alunos onde se ressaltam diferentes hipóteses e diferentes pontos de vista sobre uma mesma questão possibilitam que o conhecimento seja construído em colaboração entre eles, ou seja, permitem que ideias advindas de outras ocasiões sejam mencionadas e, possivelmente, utilizadas como forma de oferecer mais coesão aos elementos discutidos [2, p. 139].

Etapa 2 da SEI: resolução dos problemas pelos alunos

O objetivo dessa etapa é favorecer a investigação e a resolução do problema principal, assim como cada problema de cada atividade. Lembrando que o problema central visa levar os alunos a perceberem a *cor* como interação entre luz e pigmento e não como propriedade exclusiva do pigmento. Explicaremos abaixo cada uma das três atividades.

Atividade 1: mistura de pigmentos

Nessa atividade os alunos são orientados a se organizarem em pequenos grupos. Cada grupo recebe um conjunto, contendo três frascos de guache colorido (verde,

vermelho e azul), um palito de sorvete ou um pequeno pincel e algumas folhas em branco (Fig. 1).

Com os materiais em mãos, perguntamos aos alunos o que ocorrerá ao misturarmos os guaches (pigmentos). Posto o problema, solicitamos que misturem os pigmentos, primeiro de dois a dois (verde com vermelho, verde com azul, vermelho com azul) e depois os três. Pedimos que esperem que as tintas sequem. Após a secagem, reorganizamos a disposição dos alunos (organização em “U”). A ideia dessa organização é favorecer a interação entre os alunos. Solicitamos que descrevam o processo, assim como a cor-pigmento resultante (Fig. 2). Espera-se que os alunos relatem que a mistura final (ou a “cor-pigmento resultante”) é algo próximo ao preto. Durante essa etapa da atividade o papel do professor é o de instigar os alunos em suas observações e no levantamento de hipóteses sem, no entanto, explicitar os fenômenos físicos envolvidos.

Atividade 2: mistura de luzes

Nessa atividade o professor utilizará três lâmpadas coloridas: vermelha, verde e azul. O objetivo é levar os alunos a perceberem que a cor resultante da mistura de luzes de lâmpadas e a mistura de pigmentos não é a mesma. Para isso, o professor pergunta aos alunos: o que deve ocorrer se em vez de se combinar tintas, fossem combinadas luzes? Será que, nesse caso, também seria observado algo próximo do preto?

De posse das lâmpadas coloridas, o professor ilumina uma parede branca com uma das lâmpadas coloridas. Pergunta a eles o que enxergam e porque enxergam a parede daquela cor. Em seguida, o professor refaz a demonstração com duas



Figura 1: Guache, pincel e folhas.



Figura 2: Mistura de pigmentos.

lâmpadas e, depois, com as três (Fig. 3). É conveniente que se misture as lâmpadas duas a duas, de forma que os alunos percebam as interações resultantes. Outra atividade que pode ser explorada nesse momento é a de solicitar que um dos alunos fique de costas a uma das lâmpadas e que os colegas tentem explicar as sombras coloridas na parede. Sobre essa temática ver Refs. [3, 4].

Atividade 3: Interação entre luz e pigmentos

A terceira atividade é a interação entre luz e pigmentos. Após a percepção de que a mistura de pigmentos é diferente da mistura de luzes, a pergunta que se faz é: como definir (ou o que define) a cor de um objeto? Em um pequeno canto da lousa, o professor anota as concepções dos alunos.

É apresentada à turma a caixa de cores (Anexo 1) [3]. O professor explica a situação, explicitando que a tarefa/problema é a de descobrir a *cor real* das figuras geométricas, após serem iluminadas por uma luz vermelha, verde e azul, uma a uma. Outra opção é utilizar uma única lâmpada incandescente, de baixa potência, e filtros coloridos (verde, vermelho e azul) feitos com papelão e papel celofane. O próximo passo é o da organização dos grupos e a entrega da *Ficha de observação da caixa de cores* (Anexo 2). O professor desenha as mesmas figuras geométricas na lousa para organizar as observações (Fig. 4).

Os grupos são orientados a escolherem um representante para olhar as figuras, por um pequeno orifício da caixa (Fig. 5). Nesse momento o professor coloca um dos filtros, digamos o verde, e o aluno descreve a *cor* em que enxerga cada uma das figuras. A cor observada é anotada na lousa, enquanto os grupos copiam na coluna Observação 1 na *Ficha de observação da caixa de cores*. O segundo grupo envia seu representante para observar as figuras e anotar na lousa as cores observadas; os grupos copiam na coluna Observação 2.

O filtro verde é substituído pelo vermelho. O representante do terceiro grupo faz as observações. As *cores* das figuras geométricas são anotadas na lousa e os



Figura 3: Mistura de luzes.



Figura 4: Sistematização das observações na lousa.



Figura 5: Aluno observando as figuras coloridas.

grupos copiam na coluna Observação 3. O representante do quarto grupo, idem; os grupos copiam na coluna Observação 4. O professor coloca o último filtro (azul) e as observações continuam.

Após as observações, é o momento de sistematizar o conteúdo tratado na atividade. Os alunos devem ser estimulados a relacionarem as cores observadas com a cor da luz. Não se espera resposta pronta, mas que, através da manifestação argumentativa, comecem a perceber a condição da *cor* como relação entre pigmento e luz. Caso tenham dificuldade em perceber essa relação, o professor pode trazer novos questionamentos com a finalidade de auxiliar a formação do conceito; exemplos: “Como essa atividade se relaciona com as outras duas?”; “por que vocês usam papel celofane colorido nas lâmpadas da escola, na festa do folclore?”; “qual é a função do plástico colorido da lâmpada de seta do carro?”.

Etapa 3 da SEI: sistematização da luz, cor e visão

Após a mistura de pigmentos e luzes e da apresentação da caixa de cores, os alunos encontram-se motivados e curiosos para entenderem, afinal, os fenômenos observados. Como esse assunto é de difícil compreensão, e contraria suas concepções cotidianas, convém retomá-lo através das discussões entre os grupos, partindo das hipóteses levantadas por eles e anotadas na lousa pelo professor durante a execução das atividades.

Cada grupo elabora suas explicações, sistematizando as informações em cartazes que serão afixados na lousa. Os grupos passam a explicar suas hipóteses. A pertinência, ou não, das explicações deve ser conduzida pelo professor, no sentido de que os alunos sejam capazes de explicar o que se observou.

Feitas as apresentações e discussões, o professor entrega o último material: o texto de apoio *O que é a cor?* Esse texto aproximará os conteúdos trabalhados nas atividades com as explicações científicas do conteúdo *cor*. Se preferir, o professor pode complementar a sistematização do tema com o uso de *Power Point*. Tal recurso pode facilitar a recuperação dos momentos que ocorreram ao longo das atividades, traçando um paralelo entre as observações e as hipóteses que os alunos levantaram, e o que a teoria das cores afirma.

Sugerimos que o professor chame a atenção dos alunos para o complexo mecanismo da visão, destacando seus principais elementos: a retina, os bastonetes e os cones – responsáveis pela decodificação da luz e sua cor e que enviam as informações ao cérebro através do nervo óptico. Esse tópico pode ser explorado com maior ou menor abrangência dependendo da quantidade de aulas e da disponibilidade do programa.

Entretanto, convém que o professor não deixe de apresentar aos alunos a ligação importante entre a visão e a forma como enxergamos os objetos ao nosso redor. Dependendo da série em que a sequência for aplicada, o professor pode fazer uso dos conceitos de frequência e comprimento de onda. Na Ref. [5], por exemplo, é apresentado um estudo sobre a percepção da cor ser mais facilmente associada ao seu comprimento de onda, em vez da sua frequência, em decorrência da familiaridade que temos com o nanômetro e não com o terahertz.

Outro detalhe importante fica quanto ao uso dos filtros que fazem uma seleção das cores que podem atravessá-lo, e, portanto, absorvem as demais cores. Nesse momento o professor pode chamar a atenção para os processos de reflexão, absorção e transmissão que, estão presen-

tes na caixa de cores e que em conjunto com a visão, permitem explicar corretamente a questão inicial sobre cor, luz e visão.

Reação dos alunos

Após a realização das atividades da SEI e das sistematizações, percebe-se na fala dos alunos e em seus argumentos a surpresa quanto ao fato de as cores observadas serem o resultado da interação da luz com os pigmentos dos objetos. Com isso, parecem tomar consciência do fato de a cor observada não ser propriedade intrínseca nem só do objeto, nem só da luz. Acabam percebendo a impor-

Os alunos devem ser estimulados a relacionarem as cores observadas com a cor da luz. Não se espera resposta pronta, mas que, através da manifestação argumentativa, comecem a perceber a condição da cor como relação entre pigmento e luz

tância da luz branca na verificação da cor dos objetos. A mesma observação ocorre em relação à parede branca da sala de aula, onde as luzes das lâmpadas coloridas foram projetadas. Em diversos momentos das discussões, os alunos questionam acerca da interação entre luz e pigmentos, indicando um momento propício para reflexões intrapessoais na busca por respostas.

Destacamos que as atividades podem ser exploradas de diferentes formas. No nosso caso, os alunos tiveram papel ativo, exigindo preparo e estudo para que as atividades e sistematizações fossem desenvolvidas de forma adequada. Também ressaltamos a importância do professor

como um orientador e organizador da SEI, agindo sobre ela de forma que a mesma tenha suas partes executadas dentro do tempo proposto. A SEI aqui apresentada foi elaborada para ser realizada em um período de quatro aulas

de 50 minutos, podendo sofrer alterações conforme os objetivos do programa de ensino do professor.

Notas

1. Este trabalho é uma adaptação das atividades desenvolvidas na dissertação de mestrado descrita na Ref. [6]. Essa adaptação foi aplicada (e replicada) em situação real em escolas públicas do Estado de São Paulo pelos professores autores do artigo.

Agradecimento

Agradecemos à Fapesp pelo financiamento, através do Programa Ensino Público.

Anexo 1 - Construção da caixa de cores

Materiais utilizados

- 1 caixa de madeira ou papelão com tampa;
- Papel *color set* preto (ou papel camurça ou tinta preta) para forrar a caixa por dentro;
- Figuras (triângulo, seta, etc.) que podem ser feitas com papel branco e colorido (seda);
- 1 soquete para lâmpada;
- 1 fio com tomada;
- Cola, estilete e papelão;
- Lâmpada de 40 W;
- Fita isolante preta;
- Papel celofane (ou plástico colorido) nas cores verde, vermelho e azul para os filtros.

Montagem

- Forre a parte interna da caixa com papel preto, inclusive a parte interna da tampa, de modo a minimizar reflexões internas.
- Recorte aproximadamente 6 figuras coloridas, como por exemplo: um triângulo verde, uma seta azul, uma estrela vermelha, um quadrado branco etc. Cole essas figuras em uma das faces internas da caixa (Fig. a).



Figura a: Figuras coloridas no interior forrado com papel preto.

- Encaixe, do lado oposto da caixa, o soquete da lâmpada com a tomada e os fios. Use lâmpada de baixa potência e evite deixar muito tempo ligada para não esquentar demais o papel celofane de que o filtro é feito. É conveniente a utilização de um interruptor.
- Monte uma 'embalagem' parecida com aquelas de proteção encontradas nas lâmpadas incandescentes nos supermercados. Essa embalagem servirá para direcionar a incidência luminosa à parede com as figuras coloridas (Fig. b).
- Com o papel celofane e papelão faça três filtros coloridos (um vermelho, um verde e outro azul) de modo a serem encaixados no paralelepípedo. Use fita isolante preta para fixar esses filtros (Fig. c).



Figura b: Caixa forrada vista de cima.



Figura c: Filtros coloridos.

- Faça um pequeno orifício que servirá para a observação dos alunos pouco acima da posição em que a lâmpada foi fixada (Fig. d).



Figura d: Orifício na caixa e filtros coloridos.

Anexo 2 - Ficha de observação da caixa de cores

Nome		N°	
Série		Grupo n°	
Cores observadas			
Figuras	Observação 1	Observação 2	Observação 3
+			
△			
○			
☆			
⬠			
➡			

Referências

- [1] A.M.P. de Carvalho, in: *Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula*, organizado por Anna Maria Pessoa de Carvalho (Cengage Learning, São Paulo, 2013), p. 1-20.
- [2] L.H. Sasseron, in: *Argumentação e Ensino de Ciências*, organizado por Silvana Souza do Nascimento e Christian Plantin (Editora CRV, Curitiba, 2009).
- [3] G.G.G. Costa, B.A. Cortese, R. Scurachio e T. Catunda, *Física na Escola* **9**(2), 25 (2009).
- [4] F.F. da Silveira e R. Axt, *Física na Escola* **8**(1), 17 (2007).
- [5] M.F.F. Silva, *Física na Escola* **8**(1), 25 (2007).
- [6] J.G. de O. Brockington, *A Realidade Escondida: A Dualidade Onda-Partícula para Estudantes do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.



Receitas doces e coloridas: Demonstrações com luz polarizada

Diogo Soga

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
E-mail: diogosp@usp.br

Simone P. Toledo

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Mikiya Muramatsu

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

.....
A luz é uma onda eletromagnética [1] (Fig. 1) que se propaga pelo vácuo ou por meios materiais, e é composta por um campo elétrico **E** e um campo magnético **B** que se propagam conjuntamente. A direção de oscilação de cada campo é perpendicular à direção do outro campo e ambos são perpendiculares à direção de propagação da onda. Neste trabalho estamos interessados apenas no campo elétrico. Considere o caso de uma fonte de luz que emita vários raios de luz, cujos campos elétricos oscilam em direções diferentes (Fig. 2). Quando esses raios de luz incidem no polarizador 1, apenas os campos elétricos paralelos à direção desse polarizador irão atravessá-lo. Na Fig. 2, eles estão representados pelos raios E_a , E_b^v e E_c^v . Diz-se então que a luz está polarizada. Quando os raios de luz polarizados incidem no polarizador 2, e se a direção de polarização for ortogonal à direção do polarizador 1 (figura a), nenhum raio de luz atravessará; eles serão absorvidos. Se o polarizador 2 tiver a direção de polarização paralela à do polarizador 1 (figura b), então todos os raios de luz atravessarão o polarizador 2. Logo, quando o campo elétrico de todos os raios de luz

oscilam em apenas uma direção durante a propagação da luz, é possível dizer que a luz está linearmente polarizada. A luz polarizada é um tema importante no dia a dia, pois ela está vinculada a diversos produtos tecnológicos atuais: monitores, óculos e telas de cristal líquido, cinema 3D, óculos de sol, Laser etc.

Na literatura e internet são encontrados experimentos para demonstrar efeitos da luz polarizada [2-9]. Em alguns casos são utilizados materiais que modificam a polarização da luz, como a rotação da direção de oscilação do campo elétrico, o que é uma propriedade física importante apresentada por exemplo por moléculas quirais [5]. Tal propriedade é identificada como “atividade óptica”.

Na classe de materiais de moléculas quirais, temos os açúcares (sacarose [10], glicose [11], e outros). Neste caso o campo elétrico da luz polarizada pode ser girado tanto para a direita (dextrógira) quanto para a esquerda (levógira).

Os trabalhos que utilizam açúcar de cozinha [3,5,6] não apresentam alguns detalhes importantes, o que dificulta a montagem do experimento e a apresentação dos efeitos sobre a luz polarizada. Nos trabalhos publicados não foi encon-

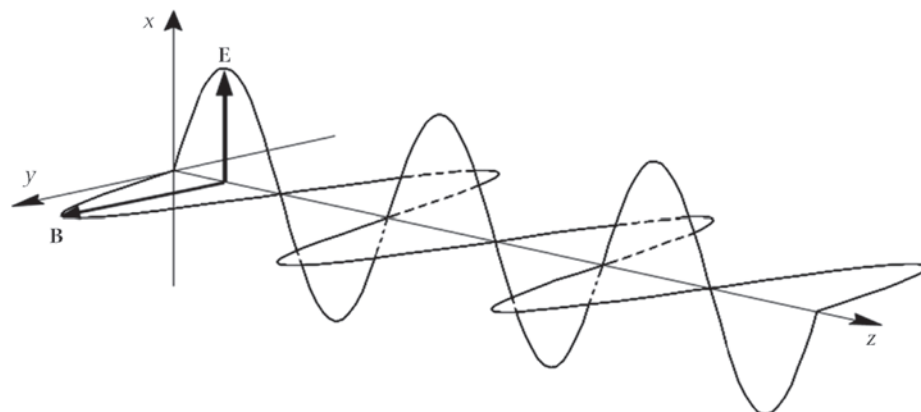


Figura 1: Uma onda eletromagnética, com o campo elétrico **E** e o campo magnético **B**.

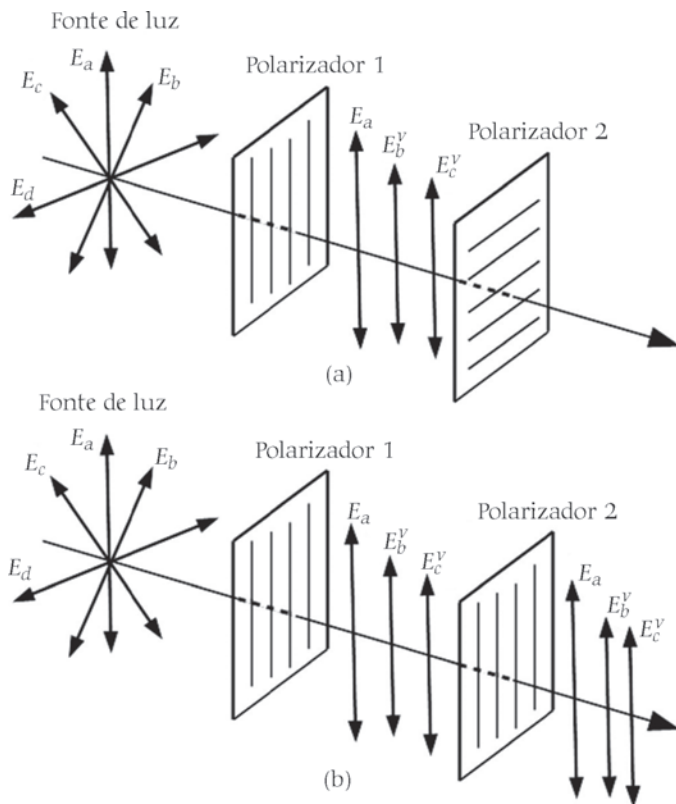


Figura 2: Polarização da luz ao atravessar polarizadores. (a) Dois polarizadores com direções ortogonais. (b) Dois polarizadores com direções paralelas.

trado o uso da glicose de milho [11,12], apenas nos vídeos [7-9].

Este trabalho apresenta algumas “receitas” para preparar demonstrações sobre luz polarizada e obter padrões coloridos nítidos, conforme poderá ser visto adiante. Estes experimentos podem ser feitos em salas de aula escuras ou outro ambiente escuro. É destacada a possibilidade do uso de um monitor de cristal líquido como fonte de luz polarizada e discutido o papel de bolhas de ar na nitidez dos padrões coloridos. Além disso, no final do artigo é proposto um experimento diferente ao estudante. Um copo, contendo água e glicose de milho, apresenta resultados diferentes entre eles.

Experimentos

O campo elétrico pode ser modificado

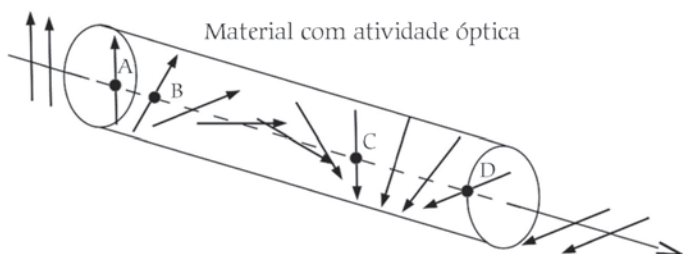


Figura 3: Material com atividade óptica. As setas indicam a direção de oscilação do campo elétrico ao atravessar o material.

ao atravessar um material com atividade óptica. No exemplo da Fig. 3, vemos que a direção de oscilação do campo elétrico (seta) muda ao atravessar um material com atividade óptica. No ponto A a direção não se altera, depois no ponto B sofre um giro, no ponto C está invertida e no ponto D a direção é totalmente diferente daquela no ponto A. Ao completar a travessia mostrada, ela girou de 270° neste exemplo. Se o comprimento do material fosse menor, por exemplo até o ponto C, após atravessar o material o campo elétrico estaria invertido.

O valor do giro do campo elétrico, devido a materiais como os quirais, é:

- a) diretamente proporcional à distância percorrida pela luz nesse meio: quanto maior for a distância maior será o giro, e quando a distância é curta não é possível visualizar facilmente o giro, como o campo no ponto A da Fig. 3;
- b) inversamente proporcional ao comprimento de onda da luz: a luz azul (de menor comprimento de onda na região do visível) terá o maior giro, enquanto a luz de cor vermelha (o maior comprimento de onda na região do visível) terá o menor giro;
- c) diretamente proporcional à atividade óptica do material: quanto maior o valor da atividade, maior será o giro. No caso de o material ser uma solução, quanto maior a

concentração do material, maior será o giro.

Considerando o caso de termos dois polarizadores cruzados (direções de polarizações ortogonais [1]), iluminados por luz branca, então não veremos nada, pois o segundo polarizador permite apenas a passagem de luz que seja ortogonal à direção de polarização do primeiro polarizador. Caso seja colocado um recipiente com uma solução de sacarose entre os polarizadores, veremos uma cor, pois a luz polarizada é girada por um ângulo que permite a passagem pelo segundo polarizador. Mas ao girar o segundo polarizador a cor muda, pois a rotação do campo elétrico da luz polarizada é dependente do comprimento de onda da luz. Para cada comprimento de onda temos um ângulo de rotação. Outro detalhe importante é que a rotação da luz também depende do caminho óptico percorrido por ela. Quanto maior o caminho percorrido na solução de sacarose, maior será a rotação da luz polarizada. Se a concentração do material mudar, o padrão de cores também mudará. Para concentrações maiores, a rotação da luz polarizada será maior.

Para preparar uma demonstração eficiente dos efeitos de giro do campo elétrico da luz polarizada, deve-se ter um recipiente transparente e longo contendo um material com alta concentração, iluminado por uma luz branca, polarizada e intensa, e um ambiente escuro.

Basicamente, os experimentos (Fig. 4)

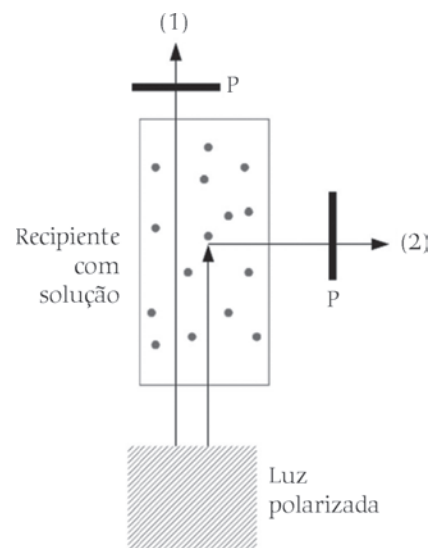


Figura 4: Esquema para a observação dos padrões de cores que são formados pela luz polarizada modificada ao atravessar a solução no recipiente, e a luz transmitida é observada através do polarizador P. (1) observação pelo topo, (2) observação pela lateral.

consistem em observar a luz transmitida através de materiais contendo açúcares em ambiente escuro. Os componentes necessários são uma fonte de luz branca polarizada, o material contido em um recipiente de vidro e um polarizador, para observar a luz que atravessa o material. A observação pode ser feita pelo topo, após a luz atravessar todo o material, ou pela lateral.

Ao observar do topo, vemos padrões com uma única cor, pois a luz percorre distâncias iguais em vários pontos, as bordas podem diferir um pouco. Ao girar lentamente o polarizador de observação, a cor muda devido a dependência com o comprimento de onda da luz. A luz polarizada gira diferentemente para cada comprimento de onda.

Ao observar pela lateral, o padrão é formado por várias cores. São faixas coloridas que variam ao longo da lateral, pois são diferentes distâncias percorridas pelos raios de luz. Ao girar lentamente o polarizador de observação, o padrão muda causando a impressão de que as faixas percorrem a lateral em um sentido. Caso a rotação do polarizador seja invertida, as faixas se movem em sentido contrário.

Neste trabalho foram utilizados: açúcar de cozinha, glicose de milho, água, copo de vidro, garrafa de vidro, dois polarizadores, lanterna de LED e monitor de cristal líquido (neste caso basta ter um polarizador).

A Iluminação

A iluminação é importante e são apresentadas duas alternativas. A primeira alternativa é usar um monitor de cristal líquido (microcomputadores ou *notebook*), pois sua luz é polarizada. Usando um programa de apresentações como o MS *Powerpoint* ou o *BR Office Impress* (ou *Open Office* ou *LibreOffice*), em modo de apresentação de uma página em branco, obtém-se uma área em branco. Aumente o brilho do monitor. Deste modo é utili-



Figura 5: Sugestão de base com lanterna LED, polarizador e pote (com um orifício na base). O polarizador está sobre a lanterna, e o pote deve ser posto sobre eles.

zado apenas um polarizador para realizar as observações. Não é possível usar a tela de *smartphones* (celulares) ou *tablets*, pois nessas telas há uma camada sensível ao toque que distorce a luz polarizada original da tela.

A segunda alternativa é utilizar uma lanterna de LED (Fig. 5) com um polarizador na frente da mesma, assim a luz será branca e polarizada. A luz emitida da lanterna passa pelo polarizador e então teremos luz branca polarizada. Nesse caso será preciso ter outro polarizador para fazer a observação.

Normalmente a fonte de luz polarizada fica sob o recipiente que contém a glicose ou a solução de sacarose. Ao utilizar a lanterna de LED com o polarizador, sugerimos também usar um pote de plástico com um orifício no fundo, para cobrir a lanterna com o polarizador, e usar esse pote invertido, que funcionará como um suporte (Fig. 6) para apoiar o recipiente com material e a luz polarizada passará pelo orifício.

Os polarizadores podem ser filtros polarizadores de câmera fotográfica ou as lentes de óculos de sol polarizadas.

Recipientes

Foram utilizados uma garrafa de vi-



Figura 6: Imagem de uma garrafa contendo glicose de milho sobre a base (um pote contendo a lanterna de LED e um polarizador).

dro (Fig. 6) com tampa e um copo de vidro (Fig. 7). Não é possível utilizar recipientes de plástico, pois esse material pode interferir no resultado do experimento. Os recipientes devem ter altura de 20 cm, o que possibilita observar tanto de cima quanto pelo lado. O importante é que haja caminho suficiente para a luz percorrer e sofrer alterações a serem observadas. O diâmetro da base não é importante.

O recipiente deve ser transparente e com a menor quantidade possível de deformações ou bolhas. O copo de vidro utilizado em nosso experimento era transparente, com altura de 12 cm e bocal de 6,5 cm. Foi usada uma garrafa de vidro com 22 cm de altura e diâmetro de 4,5 cm, com um gargalo um pouco estreito somente na parte superior.

Todos os recipientes usados devem ser limpos. A garrafa de vidro foi lavada e depois fervida em uma panela com água. Higienizar tanto a garrafa quanto a tampa (devem estar separadas), esse procedimento evita (ou retarda) o aparecimento de bolor no recipiente.

É importante testar os recipientes com a luz polarizada e o polarizador. Sem nenhum recipiente, observe a luz polarizada através do polarizador. Gire o polarizador até que fique escuro, então a direção de polarização do polarizador estará ortogonal à polarização da luz. Depois coloque o recipiente entre a fonte de luz e o polarizador. *A priori*, o resultado não deve mudar, permanecendo escuro. Caso apareça alguma cor, o recipiente não serve para a



Figura 7: Imagem de um copo de vidro contendo solução de sacarose e água na frente de um monitor de *notebook*.

demonstração, já que apresenta efeito de alguma polarização.

Açúcar e água

Soluções de sacarose são feitas com o açúcar de cozinha [1,9], que é constituído em grande parte de sacarose. A quantidade usada foi cerca de 220 g, o que equivale a cerca de 14 colheres de sopa, dissolvidas em 200 mL de água à temperatura ambiente. Como a quantidade é grande, é aconselhável colocar uma colher por vez e misturar bem até homogeneizar a solução. Caso a temperatura ambiente esteja muito baixa, a dissolução deve ser difícil. Então é aconselhável aquecer a água até uma temperatura de 20 °C. Como o volume final é maior do que os 200 mL iniciais, deve-se utilizar um recipiente maior para dissolver o açúcar de cozinha na água. Não deve haver açúcar acumulado no fundo do recipiente.

A água utilizada deve ser a mais limpa possível, para evitar o aparecimento (retardar) de bolor nos recipientes.

Glicose

A glicose de milho (conhecido comercialmente como glicose líquida) [12] é utilizada para produzir doces, sucos e sorvetes. Esse material contém uma quantidade de açúcares superior ao obtido com o açúcar de cozinha em água. Os resultados obtidos com esse material são melhores. Porém sua viscosidade alta pode dificultar a manipulação. Para encher a garrafa de vidro utilizada, usamos cerca de 230 mL de glicose, o que equivale em massa a cerca de 300 g (de um pote de 500 g).

Foram obtidos bons resultados com uma solução de glicose de milho, proporções iguais de glicose e água (por exemplo 100 mL de água e 100 mL de glicose). Proporções menores de glicose não apresentaram resultados tão bons quanto esses. É melhor usar a glicose pura.

Câmera

Caso pretenda registrar a demonstração com uma câmera digital, é preciso fazer alguns ajustes. Para registrar as imagens deste trabalho foi utilizada a câmera digital de um *smartphone*.

Para registrar do topo é preciso ajustar a opção “valor de exposição” para o menor valor (negativo) possível, enquanto na observação lateral é usado o maior valor (positivo) possível.

Ao observar do topo a quantidade de luz é grande, e então deve-se diminuir o tempo de exposição da câmera, para a imagem não ficar saturada. A observação a olho nu não apresenta nenhum proble-

ma por um intervalo de tempo curto, mas pode cansar os olhos quando observado por um intervalo de tempo longo, o qual pode variar conforme a sensibilidade de cada pessoa.

Por outro lado, quando observar pela lateral, a quantidade de luz desviada é pequena e então é preciso que o tempo de exposição para observar seja maior. É melhor observar através da câmera, pois a olho nu não temos como compensar facilmente a baixa intensidade.

Receitas

Foram obtidos bons resultados utilizando a garrafa de vidro de altura de 22 cm e quase cheia de glicose de milho (Fig. 6). Ao observar a garrafa pela lateral, sem tampa, iluminada com luz polarizada, através de um polarizador, vemos os padrões coloridos da Fig. 8. Neste caso temos um polarizador junto à lanterna, para polarizar a luz, e outro para fazer a observação. A primeira imagem é

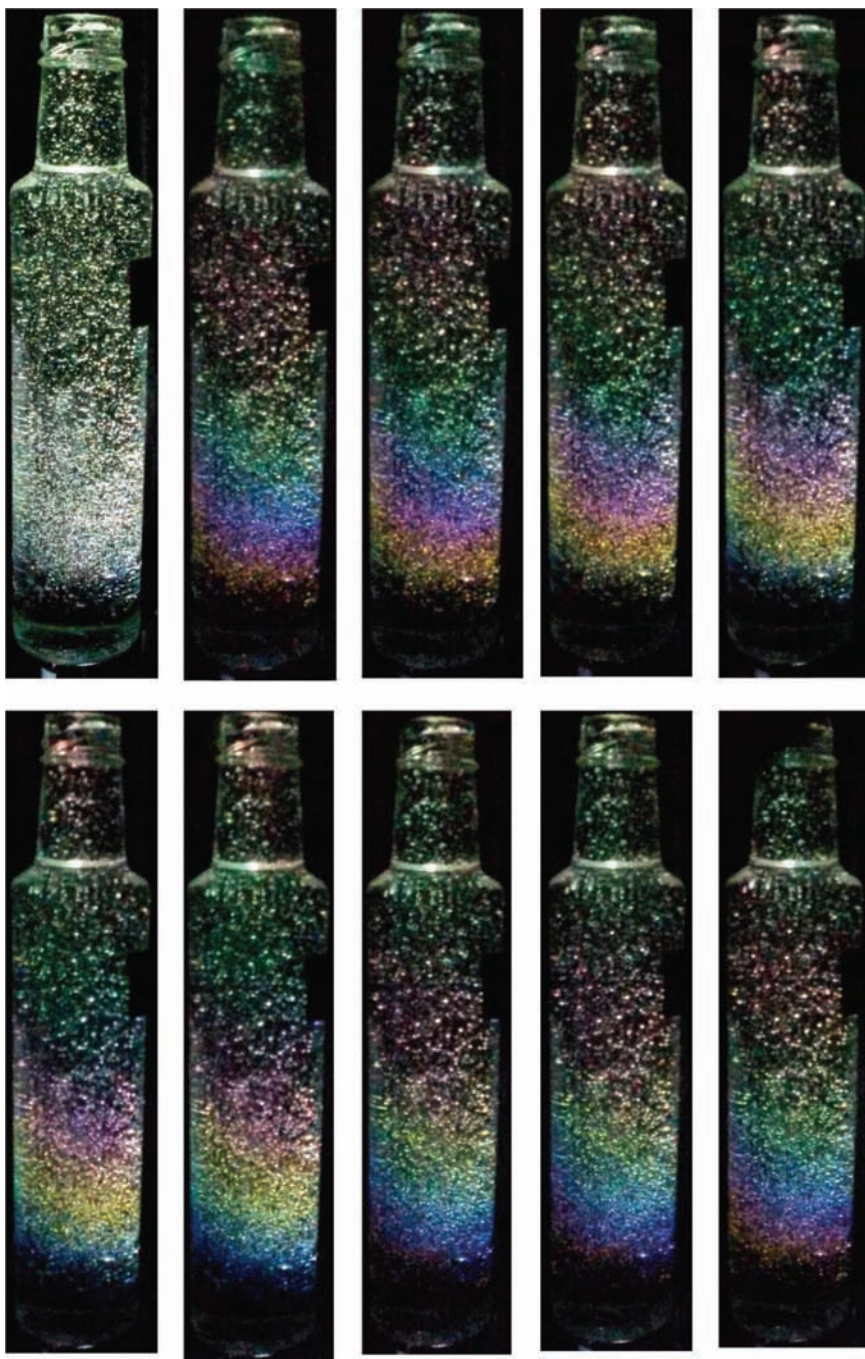


Figura 8: Sequência de imagens de garrafa, sem tampa, com glicose de milho, iluminada por lanterna de LED com polarizador e observada com o segundo polarizador girando; exceto a primeira imagem, que está sem o polarizador. Observe a variação do espectro luminoso ao girar o polarizador.

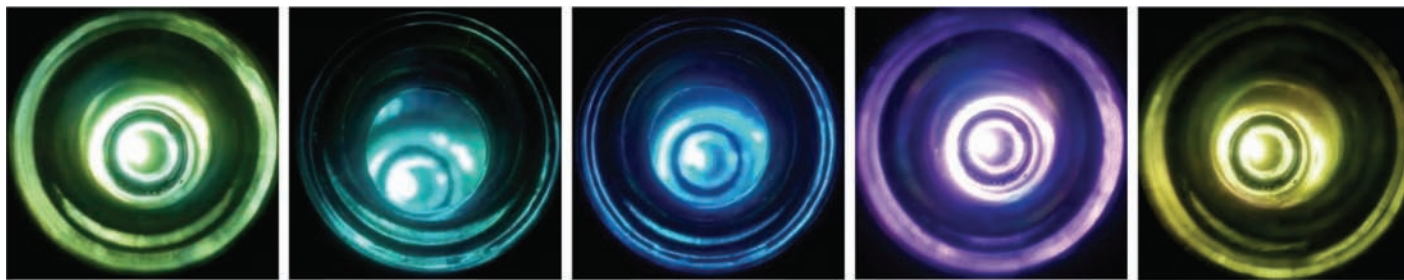


Figura 9: Sequência de imagens de solução de glicose de milho diluída observada pelo topo, em uma garrafa de vidro sem tampa.

sem o polarizador e as demais são através do segundo polarizador. Nelas aparecem padrões coloridos que são diferentes porque o polarizador foi girado lentamente, isto é, a direção de polarização da luz observada foi alterada. Observe que as cores mudam de posição ao longo do corpo da garrafa, por causa da dependência com o caminho que a luz percorre dentro do material. Na base da garrafa não são observados os padrões coloridos, porque há uma distância mínima para que o efeito do giro da polarização se torne aparente. No topo perto do gargalo o padrão torna-se tênue, pois a quantidade de luz desviada para os lados da garrafa é pequena. Observe que a segunda imagem à esquerda na primeira linha é muito parecida com a última imagem à direita na segunda linha, porque o polarizador de observação girou uma volta completa.

Usando a solução de glicose em uma garrafa de vidro, as observações foram feitas do topo (através do gargalo) e vemos padrões coloridos uniformes (vide Fig. 9), exceto pelo círculo preto que é o gargalo da garrafa, pois a luz não sai na mesma quantidade em relação ao resto da garrafa. Basicamente, estão presentes as cores verde, verde azulado (ou petróleo), azul, magenta e amarelo, e elas mudam ao girar lentamente o polarizador de observação. A cor uniforme ocorre porque os raios de

luz percorrem a mesma distância pelo corpo da garrafa, pois o giro da polarização é igual para todos os pontos. Ao diminuir a quantidade de glicose, as cores não são intensas e nem todas as cores citadas anteriormente aparecem. Tais padrões podem ser vistos na garrafa com glicose pura, mas sem as bolhas de ar.

No caso de utilizar um copo de vidro contendo a solução de sacarose, é possível fazer observações tanto do topo quanto pela lateral. Neste trabalho foram feitas observações pela lateral. Na Fig. 10 vemos uma sequência de imagens do copo, iluminado por um monitor de cristal líquido. Neste caso a vantagem é o uso de um polarizador apenas para realizar as observações. O resultado parece com o das observações feitas pelo topo da garrafa da Fig. 9. O diâmetro do copo utilizado não é uniforme, é menor na base do que no topo. Além disso, a luz que atravessa no topo ao centro do copo percorre a maior distância, produzindo nas bordas cores um pouco diferentes. Veja o segundo copo a partir da direita: a imagem apresenta a cor magenta ao centro mas é levemente amarelo nas bordas.

Também é apresentada uma garrafa cheia de glicose de milho pura (Fig. 11), iluminada por um monitor de cristal líquido pelo lado esquerdo. Para evitar acidentes, a garrafa fica deitada e com a tampa. Na frente do monitor colocamos uma

máscara de papel, para que a iluminação seja feita pela base da garrafa, isto é, há uma abertura no papel com o mesmo diâmetro da garrafa. No lado esquerdo da foto, vemos parte da máscara que obstrui a luz polarizada do monitor, exceto pelo orifício de onde a luz provém para iluminar a garrafa. O padrão observado é similar quando é iluminado pela lanterna com polarizador.

Agora discutiremos um ponto que não foi encontrado em outros trabalhos. A presença de bolhas de ar no experimento tem papel tanto benéfico quanto prejudicial, nos dois tipos de observação: pelo topo e pela lateral. Quando a observação é feita pelo topo, as bolhas prejudicam a visualização, produzindo padrões com cores misturadas e nem todas as cores são visíveis. Então, quanto menos bolhas temos no recipiente, melhores serão os resultados. As Figs. 9 e 10 não apresentam bolhas de ar no conteúdo.

Porém, quando as observações são feitas pela lateral, as bolhas de ar auxiliam a visualização, pois normalmente a luz polarizada entra por uma ponta e sai pela outra ponta do recipiente. No caso da Fig. 8, a luz entra pela base da garrafa e sai pelo topo. As bolhas desviam parte da luz para a lateral. Quanto maior a quantidade e o tamanho das bolhas, mais luz é desviada para os lados. Sem elas, pouca luz é espalhada e os

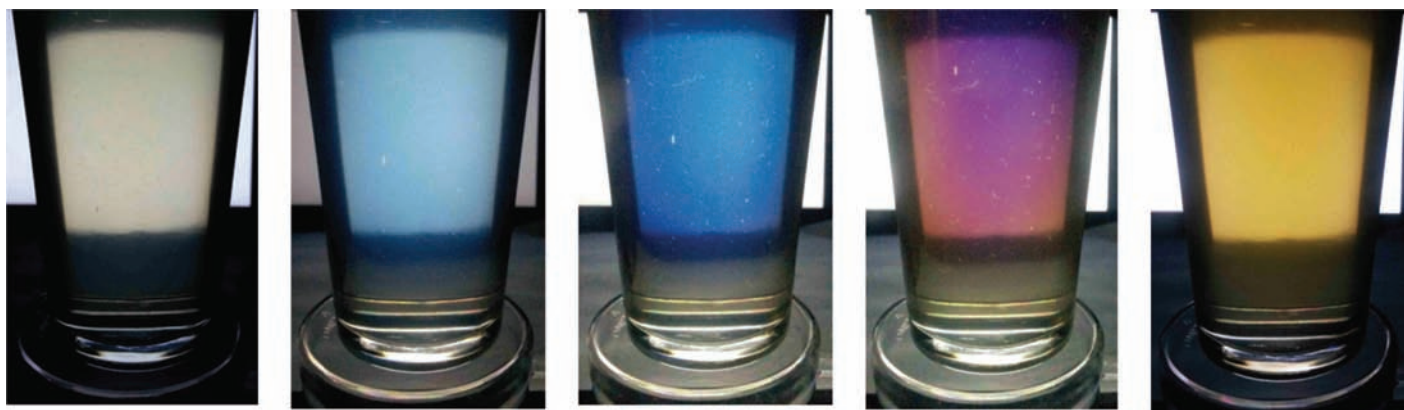


Figura 10: Sequência de imagens em sistema mais simples iluminado por monitor de cristal líquido. Um copo de vidro contendo a solução de sacarose e usando apenas um polarizador.

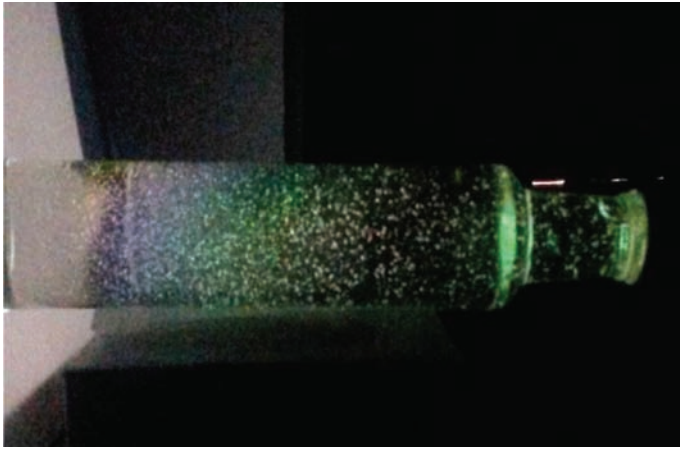


Figura 11: Imagem de garrafa deitada, contendo glicose de milho e iluminada por um monitor de cristal líquido.

padrões coloridos não são visualizados. A observação lateral permite vermos padrões coloridos ao longo do comprimento do recipiente. Na base e no topo não é possível visualizar bem, mas no meio vemos padrões de cores magníficos. Quando é utilizada a glicose de milho pura, é importante produzir muitas bolhas de ar no momento em que o recipiente é preenchido com a mesma. A glicose utilizada veio embalada em um pote de plástico e foi feita uma pequena abertura de 5 mm de diâmetro na tampa, o que produz um feixe de glicose bem fino, o qual ao verter no recipiente produziu muitas bolhas. As bolhas tendem a subir e explodir na superfície do material; após alguns dias será preciso agitar o material para produzir bolhas novamente.

Quando utilizar solução de açúcar de cozinha ou glicose diluída, é mais fácil usar a garrafa com tampa, pois basta agi-

tar rapidamente a garrafa e teremos bolhas. Nesse caso as bolhas tendem a subir mais rapidamente e explodir, não durando muito tempo.

Neste ponto propomos um experi-

mento diferente: em um copo de vidro, iluminado por um monitor de cristal líquido, uma porção da glicose pura foi colocada na parte inferior do copo, e na parte de cima foi colocada água (Fig. 12). A glicose tem densidade bem maior do que a água e então mantém-se na parte de baixo e não se mistura facilmente com água. Na primeira imagem à esquerda, sem o polarizador, vemos que é um copo com dois materiais incolores com um fundo iluminado. Na imagem seguinte, já com o polarizador, vemos que o fundo e a parte de cima ficaram escuros, mas a parte inferior está colorida. Ao girar o polarizador a cor muda, mas tanto o fundo quanto a parte de cima mudam de intensidade da iluminação, não sendo mais escuro. O que está ocorrendo?

Agradecimentos

Os autores agradecem a Cecil Chow Robilotta pela leitura crítica e sugestões deste trabalho.

Referências

- [1] E. Hecht, *Óptica* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002), 2ª ed.
- [2] E. Colombo e M. Jaén, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **8**, 280 (1991).
- [3] J.L.P. Ribeiro e M.F.S. Verdeaux, *Física na Escola* **13**,14 (2012).
- [4] E.R. de Azevedo, G.C. Faria, T.B. Batalhão, J.A. de Castro Filho, E. Santoni, J.L. Sartori e L.A.O. Nunes, *Química Nova* **33**, 1204 (2010).
- [5] O. Bagatin, E.I. Simplício, S.M.O. Santin e O. Santin Filho, *Química Nova na Escola* **21**, 34 (2005).
- [6] N. Carlin, E.M. Szanto, W.A. Seale, F.O. Jorge, E.A. Souza, I.H. Bechtold e L.R. Gasques, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 349 (2005).
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=jupOtMjF6W8>, acessado em 26/9/2016.
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=vqyuLEGrZcs>, acessado em 26/9/2016.
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=a4zUYVxvFnk>, acessado em 26/9/2016.
- [10] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sacarose>, acessado em 26/9/2016.
- [11] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Glicose>, acessado em 26/9/2016.
- [12] https://pt.wikipedia.org/wiki/Xarope_de_milho, acessado em 26/9/2016.



(a) imagem sem o segundo polarizador. (b) o segundo polarizador cruzado com o monitor. (c) o segundo polarizador girando. (d) o segundo polarizador girando. (e) o segundo polarizador girando. (f) o segundo polarizador girando.

Figura 12: Imagens de um copo de vidro com glicose embaixo e água em cima, iluminado por um monitor de cristal líquido.



Construindo um foguete de garrafas PET e sua base de lançamento de PVC: O protótipo *Rocketeers* UNIFAL-MG

.....
R.R. Cuzinatto

E-mail: rodrigo.cuzinatto@unifal-mg.edu.br

A. M. D'Ambrosio

E-mail: amd9004@gmail.com

H.F. de Andrade

E-mail: hugo_pinta@hotmail.com

A.M. de Queiroz

E-mail: alemendesmq@gmail.com

M.F. de Toledo Filho

E-mail: mauroftf@gmail.com

B.R. Duarte

E-mail: brduarte2@gmail.com

V.C. Lorencetti

E-mail: lorencetti.victor@gmail.com

S.A. Maéstri

E-mail: sergio.maestri@unifal-mg.edu.br

R.D. Martins

E-mail: renandreschmartins@gmail.com

Universidade Federal de Alfenas,

Alfenas, MG, Brasil

.....

Apresentamos o plano detalhado de construção de um protótipo de foguete de garrafas PET e sua base de lançamento de tubos de PVC desenvolvidos pela equipe *Rocketeers* UNIFAL-MG. Este trabalho pode ser entendido como um complemento à montagem experimental do estudo de J.A. Souza, Física na Escola **8**(2), 4 (2007) – Ref. [1]. O manual de construção inclui a lista de todos os materiais necessários. Dedicamos especial atenção à descrição da montagem dos foguetes com ogivas destacáveis e paraquedas (módulo de recuperação), próprios para lançamentos verticais.

Introdução

No colégio [2] aprendemos nos cursos de física básica que a aceleração gravitacional é aproximadamente constante, vale $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e que é sempre vertical e para baixo. Por isso, o movimento de um objeto atirado para cima (lançamento vertical) ou para o lado (obliquamente) é chamado de uniformemente acelerado.

Aprendemos também a calcular o alcance R de um projétil lançado com um ângulo θ com a horizontal e uma velocidade v através da equação [3]

$$R = \frac{v^2}{g} \sin(2\theta). \quad (1)$$

e somos ensinados que a trajetória curva descrita por esse projétil desde o ponto de lançamento, passando pela altura máxima h e voltando ao chão é chamada de *parábola*.

Nas aulas de física, encontramos a equação para essa altura máxima em função do tempo t de voo:

$$h = \left(\frac{t}{2}\right)v \sin\theta - \frac{1}{2}g\left(\frac{t}{2}\right)^2. \quad (2)$$

Na Eq. (2), a quantidade t é o tempo cronometrado desde o lançamento até o retorno do objeto ao solo. A quantidade $(t/2)$ é o tempo decorrido até a altura máxima. Isso acontece porque o movimento do foguete é temporalmente simétrico quando desprezamos o efeito do arrasto do ar e a força de empuxo [4].

Tudo isso segue das equações para o movimento retilíneo uniforme (na direção horizontal) e para o movimento retilíneo uniformemente acelerado (que o projétil executa na direção vertical) para um corpo tomado como ponto material.¹ O que raramente aprendemos no colégio é como fazer experiências para testar a validade dessas equações. Dificilmente temos a

chance de lidar com aparatos que podem nos ajudar a observar o significado desses símbolos matemáticos. Um aparelho simples que permite essa experimentação é o *lançador de foguetes movidos pela combinação de água e ar a altas pressões*. Mostraremos neste artigo que esse aparelho pode ser montado no estilo “Faça Você Mesmo” pelos estudantes, professores e interessados na experimentação da “Física na Escola”. O sistema foguete-lançadora é composto de materiais recicláveis (como garrafas PET, placas de isopor, canudos) e de baixo custo (cola plástica, elásticos, tubo e conexões de PVC, bomba de pneu de bicicleta). Ele é portátil e pode ser construído em casa ou na classe e, depois, usado em quadras ou campos abertos.

O protótipo da equipe *Rocketeers* UNIFAL-MG foi desenvolvido para uso no projeto de extensão “A Física do Lançamento de Foguetes Artesanais” [5-7]. Ele foi testado em vários eventos nos últimos anos [5,8,9], construído em oficinas junto com professores e estudantes do Ensino Médio e usado para verificar as Eqs. (1) e (2).

Nas próximas seções compartilhamos o receituário de produção do sistema foguete-lançador dos *Rocketeers* UNIFAL-MG. Começamos na seção “Montagem da base de lançamento” apresentando o plano de construção da base de lançamento. A seção “Montagem dos foguetes”, que descreve a confecção dos foguetes, tem duas partes. Na primeira, que trata do modelo de foguete mais tradicional com ogiva fixa, apresentamos algumas modificações à montagem elaborada por Souza [1]. Na segunda parte mostramos como fazer o foguete com ogiva destacável e paraquedas, que funciona como sistema de recuperação do foguete para os lançamentos verticais. A Fig. 1 mostra o sistema completo ao qual estamos nos referindo.

Terminamos o artigo com a seção “Lançamento do foguete”, em que sugerimos

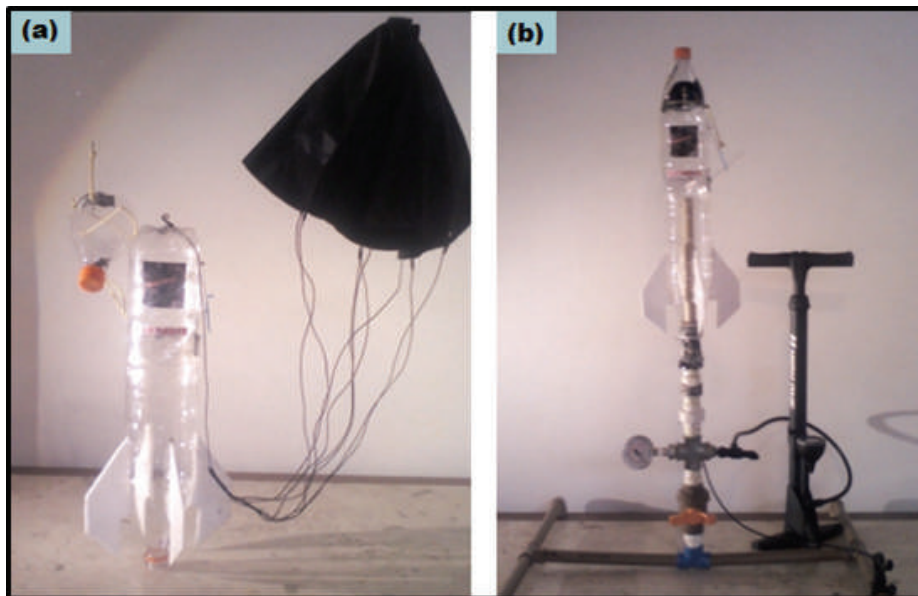


Figura 1: (a) Foguete artesanal com ogiva destacável e paraquedas (módulo de recuperação). (b) Foguete encaixado à base de lançamento composta por tubos e conexões de PVC, manômetro e bomba de ar.

mos um experimento simples com o sistema lançador-foguete que acabamos de montar.

Montagem da base de lançamento

Antes de começarmos, sugerimos que o leitor assista ao vídeo que ilustra a montagem da base de lançamento disponível no canal da equipe *Rocketeers* UNIFAL-MG no YouTube – vide Ref. [8] e vídeo da montagem da base de lançamento na internet. Além de dar uma visão geral sobre todo o trabalho detalhado a seguir, o vídeo mostra a integração das partes do lançador em uma animação de alta-fidelidade produzida em AutoCAD.

A construção da base de lançamento é a parte de todo o conjunto que demanda maior atenção e cuidado. Aqui, recomendamos a utilização de materiais de boa qualidade.

A seguir apresentamos a lista de materiais utilizados na construção da base de lançamento.

- 1 abraçadeira metálica com rosca sem fim (60 mm diâmetro)
- 1 anel de borracha para vedação (18 mm)
- 1 bucha de redução de PVC de $\frac{3}{4}$ "- $\frac{1}{2}$ "
- 2 cabos de aço com capa para freio de bicicleta
- 2 conduítes para cabo de aço (utilizados em freios de bicicleta)
- Cano de PVC $\frac{1}{2}$ " com parede reforçada (40 cm)
- 1 plugue de PVC $\frac{3}{4}$ " com rosca
- 4 abraçadeiras de plástico
- 1 cruzeta de alumínio fundido com

rosca $\frac{3}{4}$ "

- 30 cm de fita metálica multi-furos
- 4 joelhos de PVC $\frac{3}{4}$ " soldável
- 1 luva de PVC para esgoto (40 mm)
- 1 luva de união de PVC com rosca $\frac{3}{4}$ "
- 1 níquel de PVC com rosca $\frac{3}{4}$ "
- 1 registro de esfera com rosca $\frac{3}{4}$ "
- 1 tubo de PVC $\frac{3}{4}$ " (2 m)
- 1 cachimbo para criar rosca $\frac{1}{2}$ "
- 1 T de PVC com parede reforçada com uma rosca central $\frac{3}{4}$ "
- 2 T de PVC $\frac{3}{4}$ " soldável
- 1 bico de pneu de bicicleta
- 1 manômetro com rosca (medidor de pressão)
- 1 bucha de redução metálica de $\frac{3}{4}$ " para rosca cônica no diâmetro da rosca do manômetro

- 1 fita veda rosca
- 6 parafusos com diâmetro um pouco inferior ao diâmetro da fita metálica multi-furos
- 1 bomba para encher pneus de bicicleta
- 1 frasco de cola araldite para vedação
- 1 mola (de preferência de acelerador de Fusca) (10 cm, aprox.)
- 1 lixa para PVC
- Furadeira
- 1 conector de fios (utilizado para unir fios de chuveiros)

O apoio em H da base

O apoio mantém toda a estrutura da base de lançamento firme ao chão e contribui com o direcionamento do tubo de disparo. Além disso, ela permite abortar o lançamento caso haja algum problema. Seguem os passos necessários à sua montagem.

Primeiramente, corte o tubo de PVC $\frac{3}{4}$ " de forma a obter quatro partes de 30 cm cada. Conecte dois segmentos dos tubos de PVC $\frac{3}{4}$ " de 30 cm por meio do T de $\frac{3}{4}$ " de PVC com parede reforçada e rosca, como na Fig. 2-a.

O próximo passo é acoplar os dois T de PVC soldáveis aos lados livres dos canos de PVC de 30 cm (Fig. 2-b) e depois unir os outros dois canos de PVC $\frac{3}{4}$ " de 30 cm de comprimento a esses mesmos T (Fig. 2-c). Para finalizar o apoio da base de lançamento, conecte os quatro joelhos de PVC nas pontas dos canos de PVC soldável (Fig. 2-d).

O corpo da base

Faremos agora a montagem do corpo da base de lançamento. O corpo é responsável por direcionar e permitir a movimentação do ar para dentro da garrafa PET. Para iniciarmos essa etapa, precisamos unir o registro de esfera com rosca

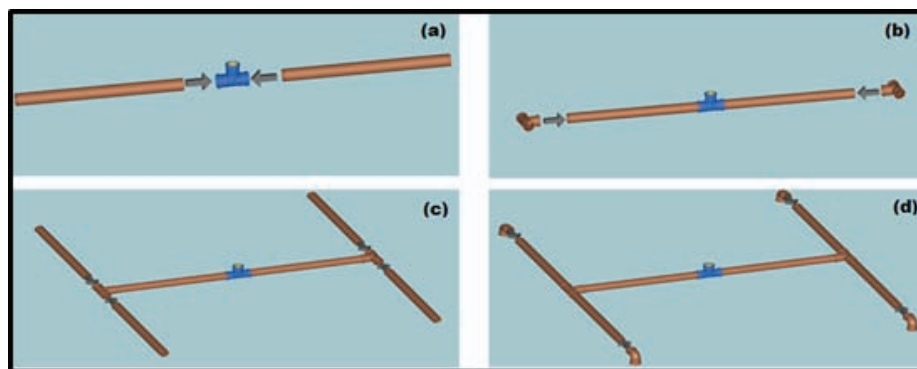


Figura 2: Sequência de passos para construção do apoio em H da base de lançamento mostrando em (a) a conexão dos dois segmentos de tubos de PVC $\frac{3}{4}$ " de 30 cm por meio do T de $\frac{3}{4}$ ", (b) acoplamento dos dois T de PVC soldáveis aos lados livres dos canos de PVC de 30 cm, (c) conexão dos outros dois canos de PVC $\frac{3}{4}$ " de 30 cm aos Tes acoplados em (b) e (d) conexão dos quatro joelhos de PVC nas pontas dos canos de PVC soldável.

$\frac{3}{4}$ " à rosca do T central do apoio H e juntar a cruzeta de alumínio ao registro (Fig. 3-a). Vale lembrar que nessa etapa de construção e em todas as seguintes até a finalização da montagem do corpo da base, todas as roscas deverão ser envolvidas com fita veda-rosca para que, quando unidas, as peças fiquem suficientemente vedadas, impedindo que haja vazamento de ar.

Agora daremos atenção ao plugue de PVC, operando-o separadamente. Essa peça receberá a válvula de bico de pneu de bicicleta que permitirá a entrada de ar no sistema. Uma furadeira pode ser usada para construir um orifício no plugue com aproximadamente o mesmo diâmetro que o bico do pneu (Fig. 4-a). O ideal é que o buraco tenha um diâmetro ligeiramente menor que o do bico, de modo que não permaneça nenhum tipo de folga aparente. Em seguida o bico deve ser empurrado para dentro do buraco até aproximadamente metade do seu tamanho. É necessário passar um pouco de cola araldite no interior do plugue para vedar e fixar o sistema plugue-bico.

A Fig. 3-b mostra como acoplar três das peças à cruzeta de alumínio. De um lado da cruzeta é inserida a bucha de redução metálica; do outro lado, o plugue de PVC com o bico de pneu de bicicleta; na parte de cima, é inserido o nípel.

Agora prepararemos a luva de PVC para juntá-la a nossa base. Essa peça possui algumas partes salientes no seu exterior que precisarão ser retiradas. Para isso, basta lixar o exterior da luva com a lixa para PVC até que a superfície da luva de PVC fique lisa, conforme apresentado na Fig. 4-b.

A Fig. 3-c mostra a união da luva de PVC com rosca ao nípel inserido na parte superior da cruzeta de alumínio e também o acoplamento do manômetro à bucha de redução metálica inserida em um dos lados da cruzeta.

A próxima etapa prepara a união do tubo de lançamento (Fig. 5-b) à base. Essa haste é responsável por garantir o direcionamento do protótipo e consiste em um cano de PVC, por onde a garrafa PET desliza antes de deixar a base para seu voo. Para isso, conectamos uma bucha de redução $\frac{3}{4}$ " para $\frac{1}{2}$ " à luva de PVC da parte superior da cruzeta (Fig. 3-d).

Devemos utilizar como haste um cano de PVC $\frac{1}{2}$ " com parede reforçada. O cano deve ser cortado para ter cerca de 30 cm de extensão. Para a conexão é necessária a criação de uma rosca em uma das pontas do cano (Fig. 5-a). Essa rosca deve apresentar aproximadamente 5 cm de comprimento e ser feita com uma tarraxa ou "cachimbo", indicada na lista inicial

de materiais. Além da rosca, faz-se necessário criar um sulco a uma distância de aproximadamente 2 cm do final da rosca (Fig. 5-a). Esse sulco serve para fixar o anel de borracha para vedação e impedir que a água e o ar introduzidos no foguete escapem. Para sua confecção, pode-se utilizar um ferro de solda elétrica ou até um prego quente.

Após a confecção da rosca no tubo, devemos encaixá-lo na bucha de redução acoplada anteriormente na parte superior da base (Fig. 5-b) e, em seguida, fixar quatro abraçadeiras de plástico em volta da luva de PVC (Fig. 6-a) com a abraçadeira metálica sem fim e cola araldite

(Fig. 6-b). Ressaltamos que a altura de fixação das abraçadeiras plásticas depende da garrafa PET utilizada e que a parte mais grossa dessas abraçadeiras servirá para segurar a garrafa no fim do bico através da saliência anelar da garrafa.

Módulo de disparo

O módulo de disparo é responsável por impedir que o foguete desprenda-se da base e seja lançado prematuramente durante a pressurização.

O primeiro passo da montagem do módulo de disparo é dobrarmos a fita metálica multi-furos até que ela envolva o cano de $\frac{1}{2}$ " (Fig. 7-a). Fixaremos essa

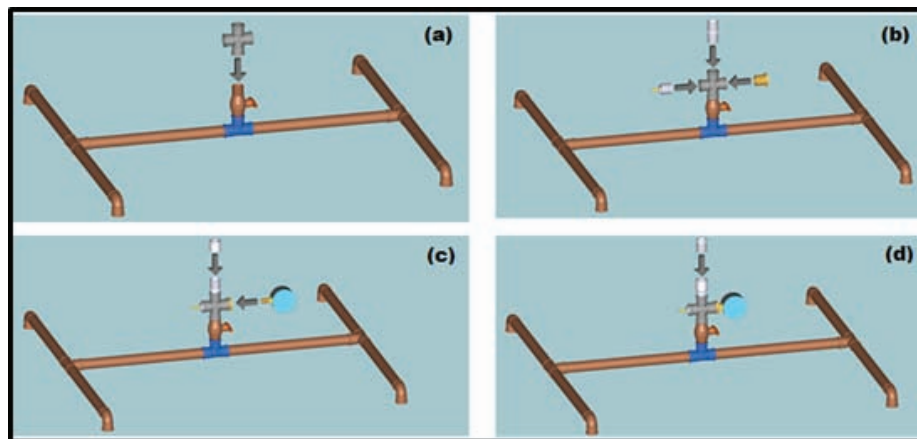


Figura 3: Sequência de passos para montagem do corpo da base mostrando em (a) a junção do registro de esfera ao T central do apoio H e da cruzeta de alumínio ao registro, (b) a adição da bucha de redução metálica à direita da cruzeta, do plugue com o bico de pneu de bicicleta (Fig. 4-a) à esquerda da cruzeta e do nípel acima dela, (c) a conexão do manômetro à bucha de redução e da luva de PVC sem saliências (Fig. 4-b) ao nípel e (d) o acoplamento da bucha de redução $\frac{3}{4}$ " para $\frac{1}{2}$ " à luva de PVC.

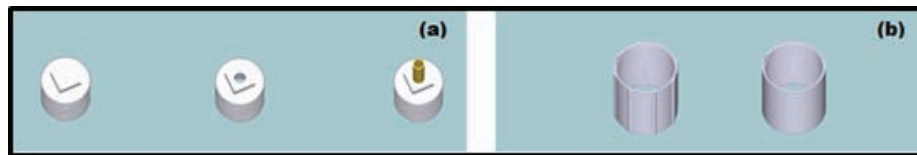


Figura 4: (a) Fixação do bico de pneu de bicicleta ao plugue de PVC. (b) Remoção das saliências exteriores da luva de PVC.

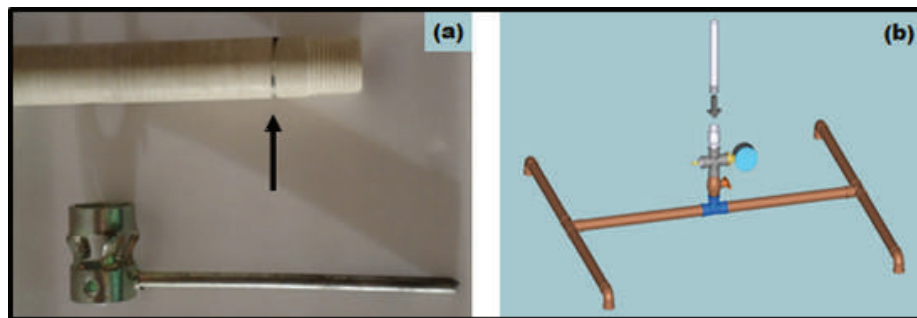


Figura 5: (a) Na parte de cima mostramos o tubo de lançamento com rosca e sulco, indicado pela seta. Abaixo mostramos o cachimbo utilizado para fazer a rosca no tubo de lançamento. (b) Fixação da haste à base.

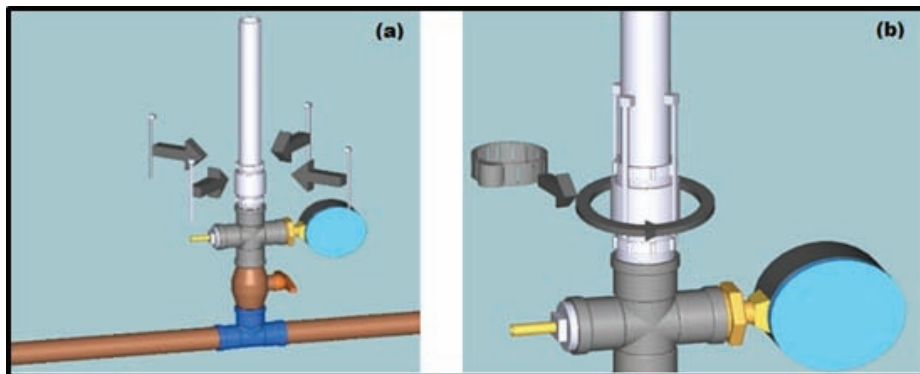


Figura 6: (a) Alocação das abraçadeiras plásticas na luva de PVC. (b) Fixação das abraçadeiras de plástico com a abraçadeira metálica com rosca sem fim.

peça em um dos dois canos inferiores que ligam o apoio da base H ao T de PVC com rosca $\frac{3}{4}$ ". Essa fixação deverá ser feita a uma distância de cerca de 10 cm do T que conecta os outros dois canos que se ligam ao joelho.

A uma distância de aproximadamente 10 cm da fixação anterior coloca-se um segmento da fita metálica perfurada, dobrada em forma de "U", envolvendo o cano PVC de $\frac{1}{2}$ ". Deve-se tomar cuidado para que os furos superiores da fita fiquem alinhados (Fig. 7-b). Deve-se prender essa parte ao cano com dois parafusos. Na próxima etapa será necessária a utilização dos dois cabos de aço e também dos conduítes plásticos para os cabos. Esses conduítes devem ter um comprimento menor do que os cabos.

O conjunto cabo de aço-conduíte deverá ser fixado ao corpo da cruzeta de alumínio (Fig. 7-c) com o auxílio das fitas de amarração, de modo que não haja folgas. A ponta mais grossa de cada cabo é presa com cola araldite ao anel de PVC que corre sobre as abraçadeiras de plástico verticais, as quais travam o foguete pela saliência na boca da garrafa PET. A outra extremidade de cada cabo é presa a um conector para fios e cabos elétricos, sendo a distância do objeto para o fim do cabo, o suficiente para que o mesmo fique entre o "U" e o anel da fita metálica.

A mola tem uma das extremidades presas na fita multi-furos da Fig. 7-a. A outra extremidade da mola é enganchada no conector. A mola é, então, esticada até que se alinhe com a peça em "U". Em seguida, um prego longo é usado para travar o conector. O prego pode ser amarrado a um barbante. Com o prego no lugar, o módulo de disparo estará engatilhado e assim deve permanecer durante a pressurização do foguete. Na pressão crítica puxamos o barbante, removendo o prego. A mola se contrai, puxando o cabo de aço que desloca o anel de PVC para baixo. Então, as abraçadeiras de plástico verti-

cais, posicionadas no topo do módulo de disparo, curvam-se para fora da saliência da garrafa e o foguete terá liberdade para sair do sistema.

Montagem dos foguetes

Foguete de ogiva fixa

O roteiro detalhado de construção de um foguete de ogiva fixa já foi publicado nesta mesma revista por Souza [1], e não há necessidade de repetir o assunto. Aqui, faremos apenas algumas observações que caracterizam particularidades do nosso protótipo.

Para uma rápida visualização de como é feita a montagem do foguete de ogiva fixa, convidamos o leitor a checar o canal *Rocketeers* UNIFAL-MG no YouTube – vide Ref. [8] e vídeo da construção dos foguetes na internet.

Conforme a Ref. [1], são necessárias duas garrafas PET para a construção do foguete. Uma delas é mantida intacta e forma a câmara de pressurização do

foguete. A segunda garrafa PET é recortada ao longo da linha onde ela começa a afunilar em direção à boca. A sua ponta é, então, colada ao corpo da primeira garrafa e usada como ogiva. A parte remanescente dessa segunda garrafa é, em geral, descartada. Neste trabalho, o corpo recortado é útil para a construção do foguete com módulo de recuperação – veja a seguir.

A tampa de plástico da ogiva é preenchida por uma mistura de cola epóxi e chumbo usado em varas de pescar. Isso desloca o centro de massa (CM) do foguete para a sua ponta; isso também aumenta a distância entre o CM e o centro de pressão (CP) do foguete. Conforme apontado por Souza [1], é condição de estabilidade do foguete durante o voo que o CM esteja acima do CP por uma distância igual ou maior que 1,5 cm (mas não muito maior).

O CP em nosso modelo de foguete ocupa uma posição diferente daquela apresentada pelo protótipo de Souza [1], pois as nossas aletas têm geometria diferente das adotadas naquele trabalho, conforme mostra a Fig. 8. Nela vemos uma aleta desenhada para uma garrafa de refrigerante de 2 litros. Essa mesma placa de isopor (usada para embalar frios em supermercados) pode ser empregada para o recorte das quatro aletas de um mesmo foguete, o que poupa material.

A técnica de determinação de CM e CP de um foguete PET são descritas na Ref. [1].

Foguetes de ogiva destacável

Conforme observado na Ref. [1] a velocidade de lançamento de um foguete pressurizado a 80 psi é estimada em

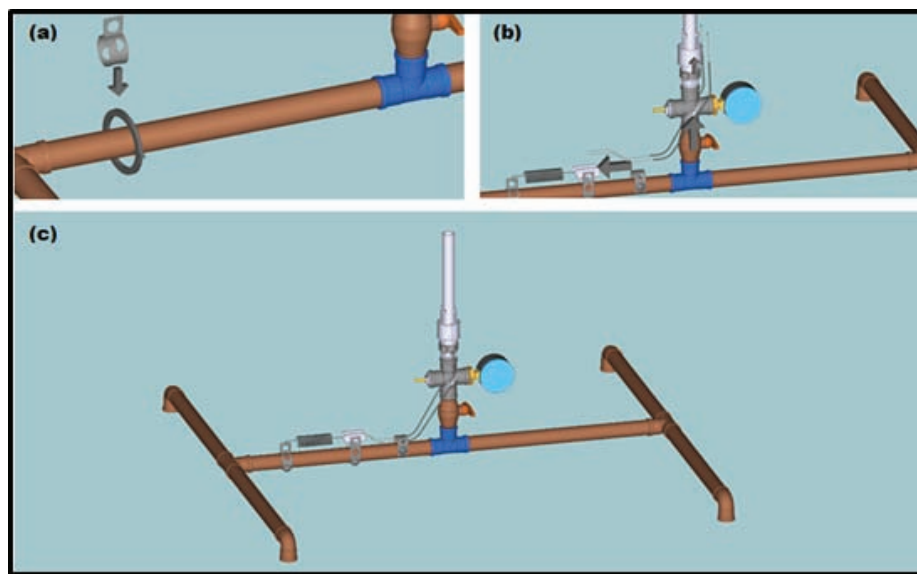


Figura 7: (a) Fixação da fita metálica ao cano de $\frac{1}{2}$ ". (b) Fixação do cabo de aço à base. (c) Base de lançamento de tubos e conexões de PVC completamente montada.

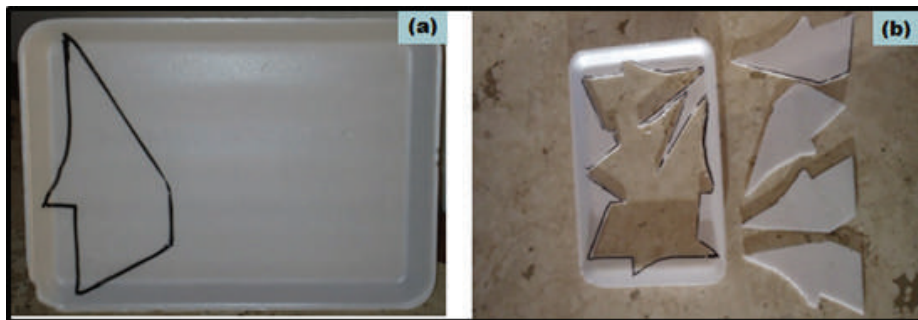


Figura 8: (a) Formato das aletas de isopor e (b) disposição das mesmas para o corte.

20 m/s (pela modelagem hidrodinâmica e termodinâmica) ou 22,5 m/s (pelo estudo do movimento desconsiderando o atrito e o formato do foguete). Isso significa que o foguete pode atingir o solo a 72 km/h no retorno de um lançamento vertical.² Isso pode provocar danos ao foguete, o que não é desejável por dois motivos: (i) exige a produção de mais foguetes PET quando o que se quer é economia; (ii) em protótipos mais sofisticados pretende-se inserir uma micro-câmera na ogiva para filmar o lançamento, e uma queda tão vertiginosa provavelmente danificaria esse equipamento. Pensando nisso, a equipe *Rocketeers* UNIFAL-MG desenvolveu um foguete com paraquedas. Ele é liberado logo após o foguete atingir a altura máxima em um lançamento vertical, no início do retorno ao solo. Nesta seção apresentamos um guia detalhado para o desenvolvimento dessa estrutura.

Módulo de recuperação

Vamos utilizar alguns dos materiais da lista de construção da base de lançamento e também os indicados a seguir:

- 1 garrafa PET
- 1 cilindro de garrafa PET reservado

da confecção de protótipo de ogiva fixa

- 1 fita adesiva do tipo *silver tape*
- 1 fita adesiva larga (45 mm)
- 6 arames revestidos com PVC com cerca de 80 mm de comprimento
- Hastes de cotonetes
- 1 alfinete com fecho (que antigamente prendia a fralda do bebê)
- 3 gomas elásticas (daquelas utilizados para prender dinheiro)

Com a garrafa PET em mãos, desenhemos uma linha pontilhada de modo que consigamos cortar um tipo de funil. Fazemos quatro furos nesse funil. Os dois primeiros (furos "A") são localizados 20 mm acima da borda do funil e espaçados de cerca de 5 mm, como indicado na Fig. 9-a. Os dois últimos (furos "B") estão a 80 mm acima da borda, do lado oposto da garrafa com respeito aos furos "A" e espaçados a 5 mm entre si, como na Fig. 9-a. Perceba que as medidas foram aferidas sobre toda a extensão da curvatura da garrafa, com uma fita métrica flexível. Os furos podem ser feitos com uma ponta de metal aquecida, como um prego fino, por exemplo.

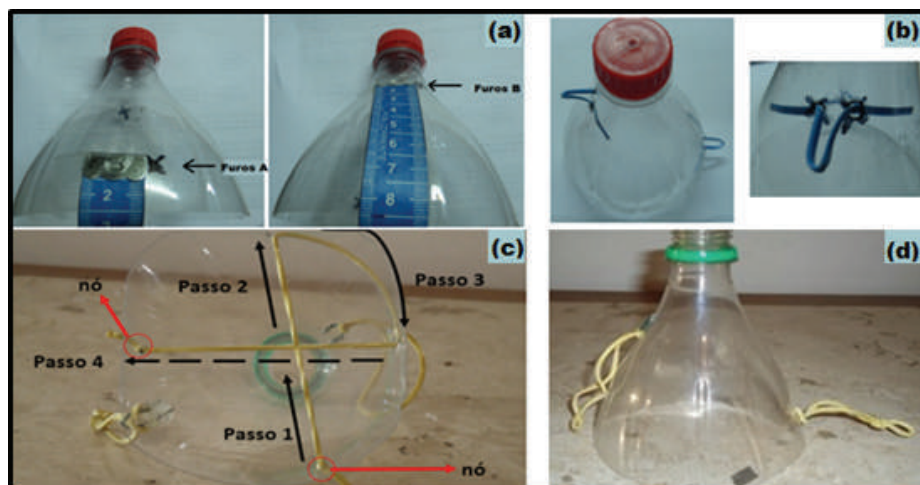


Figura 9: (a) Posição dos furos "A" e "B". (b) Posicionamento dos arames pelos furos "A" e "B". (c) Passo-a-passo da passagem da goma elástica linear pelos furos da ogiva. (d) Posicionamento das gomas elásticas na ogiva. Note o nó na extremidade do elástico da direita.

Vamos agora utilizar dois dos arames revestidos de PVC. O primeiro deles é inserido nos furos "A". Inserimos uma ponta do arame em cada orifício de forma que 20 mm de cada extremidade fique para dentro da garrafa. Depois, dobramos o arame de modo que as hastes fiquem bem próximas à parede da garrafa e formem uma volta em "U" do lado de fora da garrafa, como mostrado na Fig. 9-b. O segundo arame é acoplado nos furos "B" da mesma forma que o primeiro. Por fim, as extremidades dos arames são fixadas à parte interna da ogiva com cola quente ou fita adesiva.

Na ponta da dobra em "U" que está para fora do funil, inserimos gomas elásticas, como é indicado na Fig. 9-d. Perceba que a goma elástica posicionada nos furos "A" (parte inferior da garrafa), deve possuir um nó a uma distância de aproximadamente 10 mm de sua extremidade.

Com uma caneta esferográfica marcamos 4 pontos na parte inferior do funil que serão posteriormente furados com auxílio de um prego quente. O primeiro furo será localizado a cerca de 30 mm dos furos "A" (Fig. 9-c). O segundo estará a 80 mm do primeiro furo, o terceiro furo a 80 mm do segundo furo e o quarto furo a 80 mm do terceiro furo. Lembramos que todas essas medidas são aferidas levando-se em conta a curvatura da garrafa. Dessa forma os pontos ficam exatamente à mesma distância uns dos outros.

Após ter feito os furos, tome outra goma elástica (em forma de anel) e corte-a uma vez (para obter uma linha). Passe uma das pontas do elástico para dentro da garrafa através do primeiro furo do passo anterior; amarre a ponta elástica que ficou fora na própria garrafa produzindo um nó ("Passo 1", representado na Fig. 9-c). Passe a ponta livre do elástico dentro da garrafa pelo furo diametralmente oposto ("Passo 2", Fig. 9-c). Agora a ponta livre do elástico está do lado de fora da ogiva; ela deve percorrer a lateral de fora da ogiva até o furo adjacente. Insira essa ponta novamente na ogiva (conforme o "Passo 3" da Fig. 9-c). Então, passe a ponta livre do elástico pelo furo diametralmente oposto; quando a ponta estiver do lado de fora da garrafa novamente, amarre-a firmemente produzindo um segundo nó ("Passo 4", Fig. 9-c). Ao finalizarmos, fica evidente a formação de uma "cruz de elástico" no interior da ogiva; as pontas amarradas do lado de fora da garrafa.

A instalação desses elásticos é responsável por manter o paraquedas (cuja fabricação abordaremos posteriormente) dentro da parte superior do nosso foguete PET. Partiremos, então, para uma parte cru-

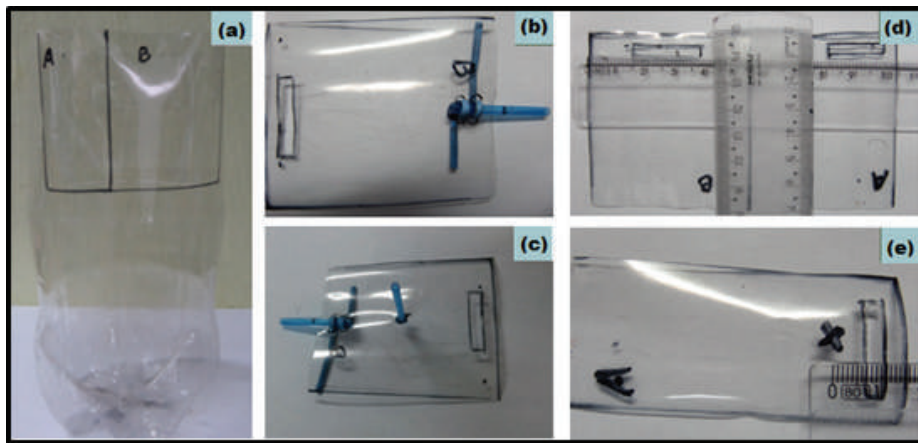


Figura 10: (a) Chapas “A” e “B” traçadas e cortadas do corpo da garrafa auxiliar. (b) Posições dos furos na chapa “B”. Um arame enrola a haste de cotonete passando pelos quatro furos enquanto dá duas voltas ao seu redor. (c) Posicionamento da segunda haste de cotonete na chapa “B”. (d) Posição dos cortes retangulares nas chapas “A” e “B”. (e) Furo na chapa “A” a 15 mm do recorte.

cial da montagem do módulo de recuperação, responsável pela expulsão do paraquedas.

O leitor deve lembrar do corpo da garrafa descartado durante a confecção do foguete PET de ogiva fixa. Ele tem o formato mostrado na Fig. 10-a e será usado justamente nessa etapa.

Faremos duas marcações retangulares nesse corpo de garrafa sem a ponta. A primeira marcação, indicada na Fig. 10-a pela letra “A”, deve apresentar 70 mm de comprimento por 30 mm de largura. A segunda marcação, indicada pela letra “B”, deve apresentar 70 mm de comprimento e 55 mm de largura. Agora precisamos fazer um corte retangular em uma das extremidades, com auxílio de um estilete, de 25 mm por 5 mm na chapa “B” e de 20 mm por 5 mm na chapa “A”, como apresentado na Fig. 10-d.

Na chapa “B”, faça quatro furos localizados a 15 mm de distância da extremidade oposta ao corte retangular (Fig. 10-

b). Os furos devem ser posicionados no meio da largura da chapa. Esses furos serão necessários para amarrar a haste de cotonete de 30 mm com um arame, fazendo com que 15 mm dessa haste ultrapasse o final da aba de plástico (Fig. 10-c).

Ainda na chapa “B”, vamos inserir mais uma haste de cotonete, essa haste agora com 15 mm de comprimento. Faça um furo a 35 mm da extremidade da chapa e cole a haste de cotonete na borda do furo; pode ser utilizada cola quente, como apresentado na Fig. 10-c. Na chapa “A”, faremos apenas um furo a 15 mm da extremidade onde foi feito o corte retangular, conforme a Fig. 10-e.

Utilizando o restante da garrafa auxiliar empregada na confecção das chapas, continuaremos a montagem do módulo de disparo, onde as mesmas serão instaladas.

Recorte as rebarbas que sobraram na garrafa auxiliar, eliminando as reentrâncias que foram produzidas ao cortar as chapas “A” e “B”. O topo do corte deve estar

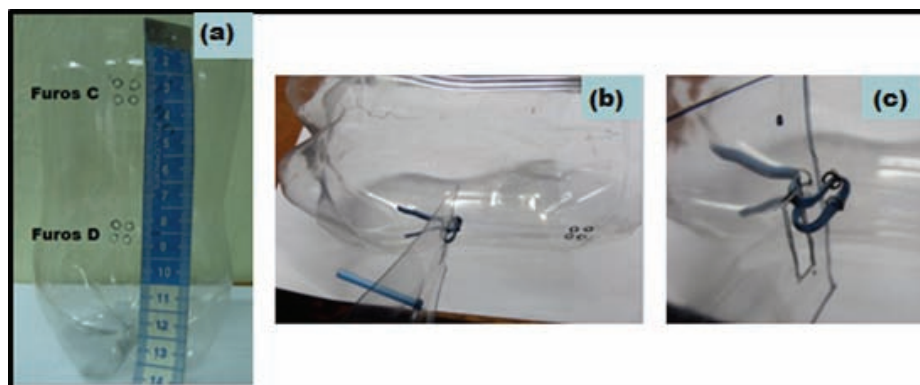


Figura 11: (a) Posição dos furos “C” e “D” para inserção dos arames. Os furos “E” são diametralmente opostos aos furos “C”. (b) Acoplamento da chapa “B” ao fundo de garrafa com o arame de PVC. (c) Detalhe de como inserir o arame para fixação da chapa “B”.

nivelado, de forma a deixar o corpo da garrafa auxiliar com altura de aproximadamente 15 cm, medidos desde o fundo até o topo da mesma, conforme Fig. 11-a. Três arames de PVC devem ser instalados nesse restante da garrafa. Para a fixação de cada arame na garrafa, serão feitos conjuntos de 4 furos em diferentes regiões. Ao visualizar a garrafa com a borda cortada para cima, a posição dos primeiros furos, furos “C”, será 20 mm abaixo da parte cortada da garrafa. O segundo conjunto de furos, furos “E”, será diametralmente oposto aos furos “C”. O terceiro conjunto de furos, furos “D”, será 55 mm abaixo dos furos “C” (Fig. 11-a).

Agora vamos fixar as chapas “A” e “B” no restante da garrafa auxiliar cortada pelos furos “C” e “D” que acabamos de fazer. Veja as Fig. 11-b, 11-c e a descrição a seguir. A chapa “B” será sustentada diante dos furos “D” com auxílio de um arame revestido de PVC. Primeiro passamos o arame por dois furos adjacentes, formando um “U” com a curva dentro da garrafa; depois, passamos as pontas livres pelo recorte da chapa “B”; então, curvamos o arame em um arco. Finalmente, inserimos as pontas livres do arame no par de furos “D” livres.

A chapa “A” é sustentada diante dos quatro furos “C” (no topo da sobra de garrafa) também com auxílio do arame, exatamente da mesma forma com que a chapa “B” foi colocada à frente dos furos “D”. Assim, com as duas chapas posicionadas, a garrafa ficará na forma da Fig. 12-a e será denominada “corpo do módulo”.

Perceba-se que as chapas do corpo do módulo são capazes de se movimentar livremente pelo arco de arame. Notamos também que a haste de cotonete que avança paralelamente à parte superior da chapa “B” se encaixa no furo (inferior) da chapa “B” e projeta o corpo do módulo (veja a parte superior da Fig. 13-a). Essa alça será usada para uma amarração com elásticos que manterá a ogiva presa ao corpo do foguete durante o movimento de subida. O resultado é mostrado nas partes (b)-(d) da Fig. 13. A seguir descrevemos como conectar os elásticos à ponta do foguete.

O conjunto de furos “E” (diametralmente oposto aos furos “C”) serão utilizados agora. Um arame com cobertura de PVC é colocado por entre os furos “E” da mesma maneira que fizemos anteriormente, ou seja, como uma alça que se projeta do corpo do módulo (veja a parte superior da Fig. 13-a). Essa alça será usada para uma amarração com elásticos que manterá a ogiva presa ao corpo do foguete durante o movimento de subida. O resultado é mostrado nas partes (b)-(d) da Fig. 13. A seguir descrevemos como conectar os elásticos à ponta do foguete.

Antes, porém, é necessário afixar o alfinete que manterá o fio do paraquedas (que produziremos a seguir) fixo ao foguete. Para tanto, usa-se um alfinete com fecho e um arame. Utilize um prego para

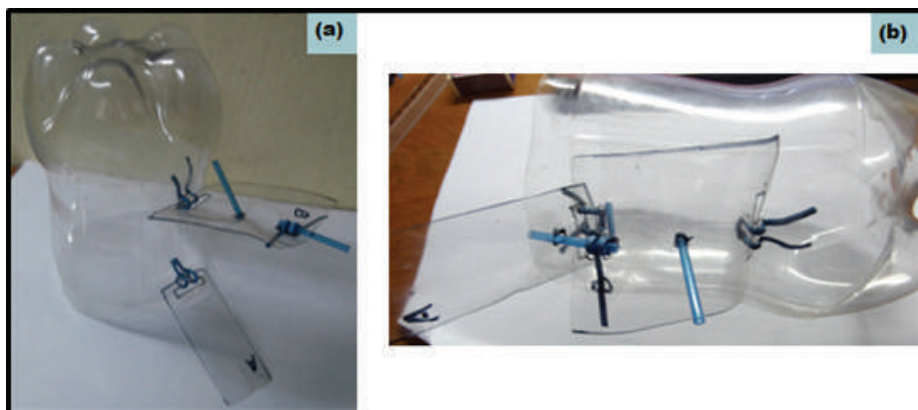


Figura 12: (a) Sistema chapas-arames posicionados no corpo do módulo de recuperação. (b) Encaixe da haste de cotonete da chapa "B" na chapa "A".

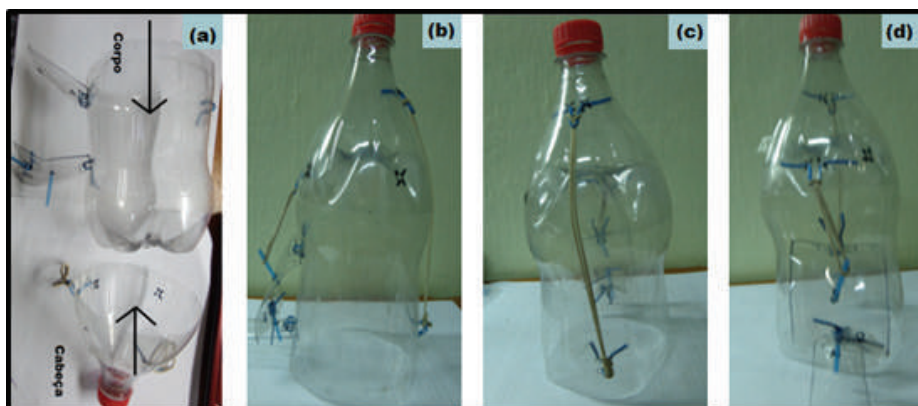


Figura 13: (a) Alinhamento do corpo do módulo para encaixe com a ogiva destacável. (b) Elásticos e hastes devidamente conectados, promovendo a união da cabeça do foguete com o corpo do módulo. (c) e (d) Diferentes ângulos de visada da conexão do corpo do módulo com a ogiva destacável.

fazer dois furos adjacentes no fundo da garrafa auxiliar da Fig. 13 (trata-se da região entre os quatro gomos de apoio da garrafa PET). Passe o arame por entre os furos, formando um arco para fora da garrafa. As pontas do arame dentro da garrafa podem ser coladas ao corpo do módulo ou amarradas firmemente umas às outras. O alfinete com fecho é colocado na alça. Resta apenas encaixar o funil no corpo do módulo, como mostra a posição de alinhamento na Fig. 13-a.

Vamos agora conectar os elásticos presentes na ogiva. O elástico conectado ao arame dos furos "B" (visto na Fig. 9-d, parte superior esquerda) será amarrado ao arame do corpo do módulo localizado nos furos "E" (mostrados na parte inferior da Fig. 13-c). Já o elástico localizado nos furos "A" (visto na Fig. 9-d, parte inferior direita) da cabeça será conectado à haste de cotonete de 15 mm (como se observa na região central da Fig. 13-d). Depois de acoplar todos os elásticos e hastes nas posições descritas acima, obtemos a estrutura do módulo de recuperação

como mostrado nas partes (b) a (d) da Fig. 13.

O foguete completo é obtido quando juntamos o módulo de recuperação à cauda do nosso foguete (peça que contém as aletas de isopor) por meio de fita adesiva larga. Essa parte é aquela também usada no foguete de ogiva fixa da Ref. [1] e que aparece na parte inferior de nossa Fig. 1-a. Lembramos que a ogiva destacável deve ter a sua borda circular recortada de forma que a ponta não fique totalmente justa,

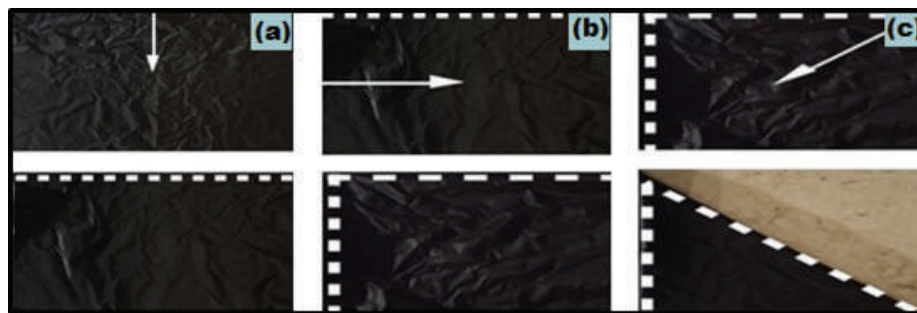


Figura 14: (a)-(c) Dobragem do tecido para o paraquedas. A parte (a) é constituída de duas fotos na mesma coluna; o mesmo vale para as partes (b) e (c).

apertada, quando colocada sob o corpo do módulo. Ela deve estar mantida na posição somente pelos elásticos, caso contrário o arrasto do ar na descida do foguete não será capaz de movimentar as chapas "A" e "B" para destacar a ogiva e permitir a abertura do paraquedas.

Confeção do paraquedas

Para finalizar definitivamente o módulo, construiremos o paraquedas responsável por diminuir a velocidade de queda do nosso protótipo de foguete PET. Para a sua confecção, precisaremos de:

- Tecido de nylon (semelhante ao usado em guarda-chuvas) medindo 550 mm x 550 mm
- 1 fita adesiva do tipo *silver tape*
- Furador de papel (do tipo que faz orifícios circulares)
- Fio de nylon com aproximadamente 1 mm de diâmetro

O primeiro passo é estender o tecido de nylon e dobrá-lo ao meio. Então, dobramos novamente o tecido, só que dessa vez lateralmente, e depois dobramos o tecido diagonalmente. Nas Figs. 14-a, b e c, as linhas pontilhadas indicam os locais de dobramento e as setas indicam o sentido da dobra.

Trace um arco no triângulo formado pelo tecido e faça um furo, não muito grande, um pouco acima desse arco, como na Fig. 15-a.

Se cortarmos na linha indicada na Fig. 15-a, o tecido aberto deve ter o formato de um círculo com oito furos separados pela mesma distância. Deveremos, então, cortar oito segmentos de aproximadamente 55 mm do fio de nylon. Cada um desses pedaços de fio deve ser passado por um único orifício do pano circular do paraquedas (Fig. 15-b). Após passar pelo orifício, o fio é dobrado na metade, tendo suas pontas reunidas e fixadas com fita *silver tape*. Fazemos isso para as oito tiras. Depois, as pontas soltas das oito tiras são unidas usando fita *silver tape*. Como próximo passo, cortamos uma nova tira de 45 mm de comprimento do mesmo tipo de fio, e prendemos uma extremidade des-

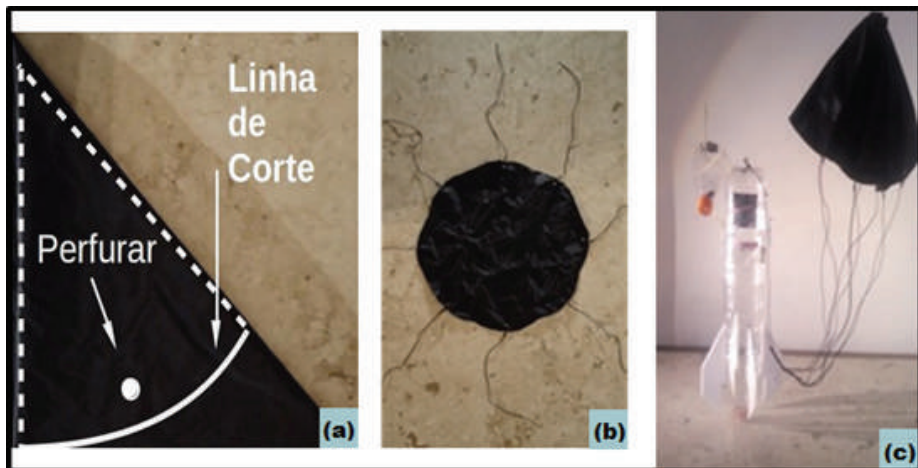


Figura 15: (a) Indicações de onde o arco e o furo devem ser feitos no tecido. (b) Paraquedas composto de tecido e fios de nylon. (c) Paraquedas instalado no módulo de recuperação.

se fio (com *silver tape*) ao conjunto de fios contendo o pano do paraquedas. A outra extremidade da tira de 45 mm deve ser presa ao alfinete com presilha no módulo de recuperação para, enfim, terminarmos a construção desse sistema. A Fig. 15-c mostra o paraquedas conectado ao módulo de recuperação.

Antes do lançamento, o paraquedas deve ser dobrado e alojado dentro da ogiva destacável, que então é montada com o sistema de elásticos, conforme a Fig. 13-b.

Como funciona o sistema de recuperação? O foguete é lançado para cima ($\theta = 90^\circ$). Ao atingir a altura máxima, o foguete para por um instante, com o bico ainda para cima, e começa a cair. O arrasto do ar levanta as chapas "A" e "B" do módulo de recuperação, a ogiva destaca-se da ponta do foguete, girando em direção aos furos "E", por onde se dependura pelo elástico. Simultaneamente, o paraquedas é liberado e se abre por conta do arrasto do ar. A partir daí, vemos o espetáculo do foguete descer suavemente até o solo (Fig. 16-b). Em condições de pouco vento lateral o foguete desce praticamente acima da base de lançamento. Isso, de fato, aconteceu em uma ocasião de nossos lançamentos.³ Nesta, um dos *Rocketeers* UNIFAL-MG foi capaz de recolher o foguete com as mãos, antes que ele atingisse o solo.

Lançamento do foguete

Agora que temos o equipamento pronto, podemos fazer uso dele. Vamos experimentar! Primeiro, compartilhamos algumas recomendações de uso; depois, sugerimos um experimento que permite usar as Eqs. (1) e (2). Para nós, isso foi um prazer. Brincando, descobrimos que as equações não são assim tão complicadas.⁴

O espaço escolhido para o lançamento é tão melhor quanto mais amplo. Isso per-

mite escolher valores suficientemente altos de pressão no foguete para produzir uma velocidade inicial v grande, o que leva a um alcance R também grande - conforme a Eq. (1) - no caso do lançamento oblíquo (Fig. 16-a). O ângulo que permite o maior alcance é $\theta = 45^\circ$. Isso segue da teoria, Eq. (1), e também da experimentação. Nós podemos lançar os foguetes em diferentes ângulos de inclinação para verificar que a distância máxima alcançada ocorre para $\theta = 45^\circ$, se mantivermos o mesmo valor de pressão (e sob as mesmas condições de vento).

Uma boa ideia é untar o cano de encaixe da base de lançamento que sustenta o foguete com óleo de cozinha. Isso evita que o foguete encalhe mesmo depois da pressurização e da liberação da trava.

Outra dica útil é encher o foguete PET até a metade com água. Com pouca água, o foguete não adquire uma velocidade inicial suficientemente elevada. Os estudantes estão convidados a explicar esse fato com base na terceira lei de Newton e na "fórmula do foguete" [4]. Muita água dentro do foguete faz com que ela entorne pelo cano de sustentação para dentro dos tubos da base, reduzindo drasticamente a pressão do sistema. Para um tratamento quantita-

tivo da pressão interna no foguete, indicamos novamente a Ref. [1].

O manômetro (medidor de pressão do sistema lançador-foguete) deve ser checado durante todo o processo de bombeamento de ar. É recomendável que a pressão interna nunca ultrapasse 80 psi, por uma medida de segurança. Também como medida de segurança, as pessoas devem ficar atrás da direção para onde aponta o foguete e, se possível, longe da base (Fig. 16-a). Não devemos pressurizar o foguete sem água, pois ele pode explodir em caso de, inadvertidamente, atingirmos pressões de cerca de 150 psi.

Depois que o foguete com meio volume de água é acoplado à base, é só bombear ar no foguete para pressurizá-lo⁵ e liberar sua trava. Rapidamente, a água é expelida do foguete, que é propulso para o voo. Ele sai da base com velocidade v em um ângulo θ , que é 90° no caso do lançamento vertical do foguete com módulo de recuperação, e $0 < \theta < 90^\circ$ no caso do lançamento oblíquo do foguete de ogiva fixa. Qual é a velocidade inicial v ? Para responder essa pergunta, vamos medir as características de voo.

O ângulo θ entre a direção horizontal (chão) e a direção do foguete (cano de sustentação da base) pode ser facilmente medido com um transferidor tipo meia-lua justaposto ao cano de ejeção. Um relógio de pulso ou cronômetro de celular são suficientes para medir o tempo t de voo do foguete. O alcance R do voo oblíquo pode ser estimado contando-se o número de passos desde a base até o ponto de impacto. Se a pessoa der passos de aproximadamente o mesmo comprimento durante a caminhada, é suficiente medir com uma fita métrica o tamanho de um único passo dessa pessoa. A distância total R é estimada multiplicando-se o número de passos pelo comprimento do passo.

Agora, basta substituir o valor tabelado [4] de $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e os valores medidos de θ e R na Eq. (1),⁶

$$v = \sqrt{\frac{gR}{\sin(2\theta)}} \quad (3)$$



Figura 16: (a) Lançamento oblíquo. (b) Descenso do foguete com paraquedas.

para encontrarmos o valor da velocidade inicial v do foguete. Em um lançamento oblíquo típico com o sistema foguete-lançador dos *Rocketeers* UNIFAL-MG (Fig. 16-a), fixamos $\theta = 45^\circ$ e, com uma pressão de lançamento de 80 psi, o alcance foi de $R = 33$ passos ≈ 30 m (cerca de 90 cm por passo). A Eq. (3) fornece o valor $v \approx 17$ m/s ≈ 62 km/h, ou seja, o foguete viaja mais rápido do que um carro que se desloca em uma via comum dentro da cidade. Note que esse valor está consistente com a estimativa de $v \approx 20$ m/s de Souza [1] em um lançamento vertical a 80 psi. Naquela referência foi usada uma técnica de cálculo inteiramente diferente da nossa, com uma física mais sofisticada envolvendo o escoamento da água pelo tubo do foguete e a expansão adiabática do vapor d'água ao final da ejeção. A concordância observada entre esses dois resultados (85%) sugere que a simplificação que adotamos (ausência de arrasto e movimento de um ponto material) é uma boa aproximação. Além disso, a bela consistência dos resultados mostra que a modelagem física realmente tem um grande poder preditivo.

A altura máxima h da trajetória oblíqua é calculada substituindo os valores do ângulo de lançamento θ , do tempo total de voo t e da velocidade v na expressão da Eq. (2). No experimento típico que mencionamos acima, o tempo total de voo foi de $t = 4$ s. Isso leva a $h \approx 4,5$ m. Esse valor pode ser comparado com a altura de prédios ou árvores ao redor do espaço de lançamento.

Podemos também obter a altura máxima do foguete utilizando a expressão para a velocidade vertical do mesmo, dada

por $v_y = v_{0y} - gt$, em que $v_{0y} = v \sin \theta$ é a componente vertical da velocidade inicial v . A velocidade vertical do foguete na altura máxima é nula, ou seja, $v_y = 0$, de modo que neste ponto temos $t/2 = v_{0y}/g$, sendo t o tempo total de voo. Substituindo $t/2$ na Eq. (2) obtemos:

$$h = \frac{v^2 \sin^2 \theta}{2g}. \quad (4)$$

Para estimar h usando a forma usual da Eq. (4), precisamos do valor da velocidade inicial v calculado via Eq. (3), além do ângulo θ medido diretamente. Por outro lado, a Eq. (2) prescinde apenas de grandezas que medimos diretamente.

Esse exemplo é apenas um experimento típico com o sistema foguete-lançador que construímos. No lançamento vertical do foguete com o paraquedas, pode-se encontrar a velocidade inicial, a altura de lançamento e estudar as características do movimento de descenso do foguete (Fig. 16-b). Por exemplo, com a altura máxima e o tempo de descenso, estimamos a velocidade terminal do projétil [4]; daí estimamos as características aerodinâmicas do sistema como o coeficiente de arrasto (usando a massa específica do ar e a área de seção reta do paraquedas.)

Mãos à obra e boa diversão com a "Física do Lançamento de Foguetes"!

Agradecimentos

Os autores são gratos ao Ministério da Educação do Governo Federal do Brasil (edital PROBEXT 2014 MEC/SESu); à Pró-Reitoria de Extensão da UNIFAL-MG e ao PET-Ciência UNIFAL-MG pelo apoio financeiro.

Notas

¹As Eqs. (1) e (2) são uma simplificação do movimento de um corpo extenso no ar. De fato, o arrasto não aparece computado nessas equações e sua inclusão complica consideravelmente a modelagem matemática do lançamento de foguetes, como mostra a Ref. [3], por exemplo. A Ref. [1] apresenta – além de detalhes sobre a montagem de um foguete PET de ogiva fixa e bases de lançamentos – uma extensa discussão sobre a aerodinâmica do foguete, a relação entre o centro de massa e de pressão, a importância das aletas na estabilidade do voo, a técnica de determinação teórica e experimental da velocidade máxima do foguete. Este trabalho vigoroso combina mecânica (leis de Newton), hidrodinâmica (equações de Bernoulli e da continuidade) e termodinâmica (expansão adiabática de gás ideal) para o estudo do movimento vertical de foguetes PET.

²Admitimos aqui a aproximação de arrasto desprezível. Nesse caso, as equações que descrevem o lançamento vertical (um movimento retilíneo uniformemente variado) garantem que o tempo de subida é igual ao tempo de queda livre e que a velocidade de impacto com o solo é a mesma da de lançamento: 20 m/s ou 72 km/h.

³No evento de extensão "Foguetes na Fazenda!" descrito na Ref. [5].

⁴O uso das Eqs. (1) e (2) pressupõe que estamos desprezando o arrasto do ar. Isso se mostra uma boa aproximação depois que se toma o cuidado de produzir os foguetes PET com a qualidade aerodinâmica garantida pelo roteiro da Ref. [1]. Os estudos experimentais que permitiram essas conclusões estão sendo preparados para publicação. De qualquer forma, o tratamento matemático do lançamento com arrasto é abordado na Ref. [3].

⁵Usa-se, para isso, a bomba de encher pneu de bicicleta, acoplada ao bico da base da Fig. 7-c.

⁶A Eq. (3) é apenas uma outra forma de escrever a Eq. (1).

Referências

- [1] J.A. Souza, Física na Escola **8**(2), 4 (2007).
- [2] F. Ramalho Jr., N.G. Ferraro e P.A.T. Soares, *Os Fundamentos da Física: v. 1 – Ensino Médio – 1º Ano* (Moderna – Didáticos, São Paulo, 2008).
- [3] A.M. de Queiroz e R.R. Cuzinatto, Revista Brasileira de Iniciação Científica **4**, 82 (2017).
- [4] D. Halliday, R. Resnick e R. Walker, *Fundamentos de Física. Mecânica* (LTC, Rio de Janeiro, 2008).
- [5] R.R. Cuzinatto, A.M. D'Ambrósio, H.F. de Andrade, B.R. Duarte, V.C. Lorencetti e cols., Rev. Ciênc. Ext. **11**, 40 (2015).
- [6] S.A. Maéstri, A.M. D'Ambrósio, H.F. de Andrade, V.C. Lorencetti, M.F. de Toledo Filho e cols., *Caderno de Resumos da III Semana do Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Economia (BICE) / IV Semana do Programa Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão (PIPEX) da UNIFAL-MG*, organizado por D.C. Oliveira, E. Zwick, L.L.M. Rodrigues, M.V. Coelho, P.C.L. Silveiro e cols. UNIFAL-MG, Varginha, 2012, p. 22, disponível em <http://www.unifal-mg.edu.br/icsa/files/file/anais2012.pdf>, acesso em 30/01/2017.
- [7] A.M. D'Ambrósio, H.F. de Andrade, V.C. Lorencetti, S.A. Maéstri, M.F. de Toledo Filho e cols., *Estudo da Física no Lançamento de Foguetes. Relatório Sobre o Trabalho do Projeto Multidisciplinar V* (Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2012), disponível em www.unifal-mg.edu.br/foguetes, acesso em 30/01/2017.
- [8] R.D. Martins, A.M. D'Ambrósio, V.C. Lorencetti, S.A. Maéstri, M.F. Toledo Filho e cols., *Rocketeers UNIFAL-MG*, 2014. Canal do YouTube, disponível em https://www.youtube.com/channel/UChJ0EUyaOMni9qa7P_ViuZw, acesso em 30/01/2017.
- [9] R.D. Martins, A.M. D'Ambrósio, V.C. Lorencetti, S.A. Maéstri, M.F. Toledo Filho e cols., *A Física do Lançamento de Foguetes Artesanais* (Pró-Reitoria de Extensão da UNIFAL-MG, Poços de Caldas, 2013), disponível em <http://www.unifal-mg.edu.br/foguetes>, acesso em 30/01/2017.

Recursos de Internet

Vídeo da montagem da base de lançamento: <https://www.youtube.com/watch?v=esKGBbiotxQ>.
 Vídeo da construção dos foguetes: <https://www.youtube.com/watch?v=duIKywLHLjM>.

Em que supermercado comprar?

ml x kg?!
kg x m?!

PIZZA SABORES 1000 cm ²  Sabia RS: 15,50	BANANA UNIDADE  RS: 0,50	SORVETE UMA BOLA  KIBOMBA RS: 0,49	BARBEADOR 1m ² DE BARBA  DETESTO RS: 12,25
PÃO DE FORMA FATIA  RS: 0,30	MANTEIGA DE GARRAFA 600ml  RS: 8,49	FELDÃO PET 600ml  RS: 1,99	LAMPADA FLUORESCENTE 1800 HORAS DE USC  RS: 9,99

Sandro Soares Fernandes

Colégio Pedro II e Instituto de Física,
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: sandrorjbr@uol.com.br

Deise Miranda Vianna

Instituto de Física, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Rio de
Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: deisemv@if.ufrj.br

De que maneira o ato de medir influencia nossas vidas?

A origem da necessidade de uso dos pesos e medidas perdeu-se no tempo e no espaço. Com a implantação da revolução agrícola, o *Homo sapiens* deixa de ser nômade e com isso precisou entender e interferir nos domínios do ambiente em que habitava. Observando e buscando entender as mudanças que ocorriam na natureza, começamos a criar calendários e padrões de medidas que auxiliavam no plantio, colheita e trocas de mercadorias [1]. O homem começou a usar partes do seu corpo para comparar e medir distâncias. Houve tempo em que o homem utilizava processos bem simples de comparações de medidas para poder sobreviver e viver em grupos. Os pesos e medidas foram, desde as primeiras civilizações, linguagens usadas no comércio e podem ser considerados como pilares de sustentação para as sociedades, no que diz respeito às relações de troca no comércio, à padronização para medir a produção e ao suporte dimensional para as ciências e tecnologias. Com o passar do tempo, o homem evoluiu e com ele evoluíram os sistemas de medidas [2].

O homem primitivo não necessitava de um sistema de medidas muito sofisticado, bastando apenas ter noções de algumas delas, como saber se um objeto era “maior que” ou “mais leve que” outros objetos. As primeiras unidades de comprimento foram estabelecidas tomando como base as dimensões de partes do corpo humano. Essas unidades eram chamadas de *antropomórficas*, e podemos citar como exemplos a polegada, o pé, o palmo, os dedos e o côvado. À medida que o homem foi evoluindo e suas necessidades foram

aumentando, esse sistema já não era mais tão eficiente, pois havia dedos grandes e pequenos, homens altos e baixos, braços maiores e menores. Era então necessária a criação de um padrão que não gerasse essa confusão. Um sistema de medidas eficiente é aquele que satisfaz as necessidades das atividades relacionadas à metrologia¹ e envolve determinadas unidades que representam todas as grandezas mensuráveis. Ele deve ser simples, coerente e suficiente para garantir a elaboração de sistemas de equações físicas independentes e compatíveis.

Apresentamos uma atividade que pode levar o aluno² a compreender a importância de um sistema de medidas coerente e adequado para a sociedade moderna. O assunto não tem recebido a atenção que merece e os alunos geralmente o classificam como um tema pouco interessante. Podemos usar como motivadores certas situações-problema que despertem curiosidade por meio de vídeos, imagens e/ou texto.

Uma atividade investigativa com enfoque CTS

O ensino por investigação constitui uma orientação que enfatiza o questionamento, a resolução de problemas abertos e o desenvolvimento do senso crítico do aluno sobre a importância da ciência e suas aplicações na sociedade em que vive,

e a argumentação. Em atividades investigativas, a função do professor passa de transmissor de conhecimento científico, através de exposição oral e escrita, para

um guia e orientador da aprendizagem, deixando de lado a interpretação rígida dos conteúdos programáticos dos livros didáticos, e tendo mais flexibilidade curricular, orientando as atividades aos gostos,

Os pesos e medidas foram, desde as primeiras civilizações, linguagens usadas no comércio e podem ser considerados como pilares de sustentação para as sociedades

O trabalho propõe uma atividade relacionada ao dia a dia de um cidadão - ida ao supermercado - para fazer suas compras. Apresentamos uma proposta em que alunos poderão comparar preços e produtos, escolhendo a melhor oferta. Esta é uma atividade para o tema unidades de medidas, baseada no enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), como uma atividade investigativa. Essa unidade de ensino pode ser apresentada em diferentes séries de ensino e proporciona ao aluno a oportunidade de escolher, discutir e comparar grandezas. Via argumentação, ele pode perceber a importância das unidades na vida humana, assim como para o desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade.

interesses, necessidades e experiências dos alunos, quando eles se expressam, discutem, argumentam.

Geralmente, as demonstrações de experimentos em ciências são feitas com o objetivo de ilustrar uma teoria, ou seja, o fenômeno é demonstrado a fim de comprovar uma teoria já estudada ou em estudo. O papel do professor é o de construir com os alunos uma passagem do saber cotidiano para o saber científico, por meio da investigação e do próprio questionamento acerca do fenômeno [3].

Para maior contextualização do conteúdo a ser ensinado, adotamos uma proposta de ensino com enfoque CTS, a fim de criar uma integração entre educação científica, tecnológica e social, em que os conteúdos científicos e tecnológicos são estudados e discutidos, fazendo uma relação com outros aspectos políticos, sociais e econômicos. Teremos assim um caminho para desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando na construção de conhecimentos, formação de habilidades e valores necessários. É preciso alfabetizar os cidadãos em ciência e tecnologia mostrando a importância de se agir, tomar decisões e compreender o que se fala nos discursos dos especialistas, que hoje é uma necessidade do mundo contemporâneo. Dentre as concepções desses currículos podemos destacar [4]:

O objetivo central da educação de CTS no Ensino Médio é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, ajudando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões sobre questões envolvendo ciência e tecnologia na sociedade e saber resolver tais questões.

Dentre os conhecimentos e habilidades que professores devem buscar desenvolver, em atividades com enfoque CTS, podemos destacar: melhorar a auto-estima dos alunos, trabalhando com temas que tenham mais significados para eles, e valorizar a colaboração, a responsabilidade social e o exercício da cidadania, fazendo com que tenham interesse em discutir problemas e questões sociais.

Apresentando a proposta

Apresentamos uma atividade sobre unidades de medidas,³ cujo tema é facilitador para a construção de uma atividade didática em CTS que ofereça uma formação ao aluno voltada para a tomada de

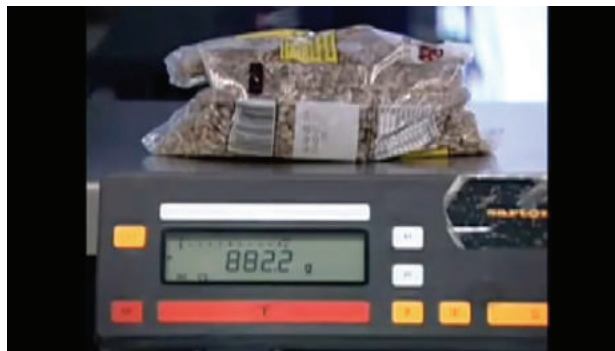


Figura 1: Atenção consumidor [7].

decisões que envolvam a “base científica da tecnologia e a base prática das decisões” [5].

Para iniciar essa atividade, propomos que a turma assista a vídeos que tratam da falta de padronização dos pesos e das medidas de produtos em alguns supermercados, mostrando dessa forma o trabalho dos órgãos reguladores, como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), nas investigações dessas irregularidades. É comum acompanharmos reportagens como as que foram apresentadas para os alunos que discute a falta de padronizações, detectadas por técnicos do INMETRO, nos padrões de medidas de produtos que fazem parte da cesta básica dos brasileiros. Dessa forma, buscamos mostrar ao aluno a importância do tema abordado. O aluno assim percebe que o problema que está resolvendo é do dia a dia das pessoas, do seu pai e da sua mãe e que tem a ver diretamente com a economia da sua família.

O primeiro vídeo está ilustrado na Fig. 2, onde apresentamos um exemplo sobre irregularidades no peso de alguns produtos da cesta básica dos brasileiros, como arroz e feijão, indicando que o erro nas medidas pode chegar a 120 gramas por quilograma do produto (Fig. 1). Nesse momento o professor, com o auxílio de

uma balança e de alguns produtos de uso cotidiano, pode confirmar algumas dessas irregularidades na sala de aula.

No próximo vídeo (Fig. 2), os alunos podem perceber o papel importante dos órgãos reguladores para a manutenção dos padrões de medidas dos produtos nos supermercados. Pode ser interessante o incentivo ao debate, a fim de que os alunos tomem consciência da importância dessa fiscalização. Eles podem ser questionados, por exemplo, se costumam se preocupar em verificar se os produtos estão dentro dos padrões de medidas e se há esse tipo de preocupação em suas casas. Exemplos do dia a dia podem ser utilizados, como: ao comprar um rolo de linha para soltar pipas, será que o comprimento da linha está correto? E o comprimento de um rolo de fita adesiva ou durex? Será que as medidas estão corretas?

A partir dessa discussão, envolvendo materiais disponibilizados na mídia, passamos a uma atividade para a classe.

Os alunos da turma trabalham em grupos e devem comparar preços de produtos de um supermercado fictício, *Pare & Compare*, com os preços das grandes redes de supermercados que conhecemos. Os alunos recebem prospectos com os produtos e preços de várias redes de supermercados e do *Pare & Compare*. A relevância



Figura 2: Irregularidades nos pesos e medidas dos produtos [8].

Roteiro da atividade para os alunos

Desafiando as unidades de medida

Preparem-se! Vem aí uma nova rede de supermercados pronta para brigar de igual para igual na disputa de consumidores que buscam qualidade e preços baixos.



Dona Ana, funcionária da nossa escola, ficou sabendo da inauguração de uma das lojas da rede aqui perto, e não poderia perder a oportunidade de ir conhecer o novo mercado e, quem sabe, já levar alguns produtos para casa, se valesse a pena, é claro!

Ela voltou para casa um pouco frustrada e sem comprar nenhum produto, pois, ao analisar o prospecto na entrada da loja com a propaganda e preços dos produtos, ficou confusa com as unidades utilizadas e não sabia se os preços eram mais vantajosos ou não.

Gostaria de propor a vocês, hoje, o desafio de verificar se os produtos vendidos na nova rede de supermercados estão realmente baratos ou se temos mais uma propaganda enganosa. Vocês estão recebendo uma propaganda da rede de supermercados *Pare & Compare* (Fig. 3) e também de uma grande rede de supermercados já conhecida de todos



Figura 3: Prospecto de propaganda do supermercado *Pare & Compare*.

para usar como referência, caso seja necessário. Cabe a cada grupo avaliar se os produtos da rede *Pare & Compare* estão com seus preços vantajosos em relação aos valores de mercado.

Apresentamos aos grupos uma tabela contendo os nomes de todos os produtos do supermercado *Pare & Compare* e um espaço destinado aos comentários, onde os grupos deveriam apresentar argumentos defendendo em qual dos supermercados seria mais vantajoso comprar o produto.

O envolvimento dos alunos nessa atividade é muito grande. Várias grandezas são exploradas pelos grupos enquanto buscam as comparações adequadas entre os produtos e a “confusão” envolvendo as diferentes unidades torna-se algo desafiador para eles. Em cada produto que precisavam comparar, buscavam as grandezas relevantes e suas relações. A massa, o comprimento, a área, o volume, o tempo, a densidade e a pressão, acompanhadas de suas respectivas unidades, são algumas das grandezas que visitam essa atividade. Podemos citar algumas das estratégias adotadas por grupos durante a realização do roteiro, em dois produtos do *Pare & Compare*.

No caso do macarrão espaguete, encontramos dois tipos de encaminhamentos. No primeiro, os grupos tentavam estimar o comprimento de cada espaguete e a quantidade de espaguetes em cada pacote de 500 g, conseguindo assim calcular o comprimento total de macarrões em cada pacote. Outro encaminhamento bastante usado pelos alunos foi o de estimar a massa e o tamanho de cada espaguete, de modo a identificar o número de espaguetes por pacote de 500 g e o comprimento total deles alinhados, efetuando assim a comparação.

Destacamos também o produto feijão, que no *Pare & Compare* era vendido em garrafas Pet de 600 mL. Nesse caso, também podemos destacar dois tipos de soluções que prevaleceram entre os grupos. Alguns alunos estimavam as dimensões de um pacote de feijão cheio (de 1 kg) e achavam o volume desse pacote, podendo assim comparar o preço do *Pare & Compare*. Já outros grupos buscaram descobrir qual seria a densidade do feijão, pois tendo o volume de 600 mL, poderiam identificar a massa de feijão contida na garrafa Pet, facilitando a comparação.

dessa atividade está nas unidades utilizadas no supermercado fictício. O objetivo é fomentar discussões nos grupos, a fim de que sejam construídas relações corretas entre as diferentes unidades apresentadas pelos dois supermercados. Os estudantes podem fazer uso também de qualquer material para a pesquisa de mercado, como *tablets*, *smartphones* etc.

Considerações finais

Ao lançarmos mão de uma atividade como essa, adotamos um modelo em que o aluno deve ser privilegiado e valorizado no processo de ensino. Nesse tipo de atividade investigativa, o professor também passa de avaliador para avaliado, pois é continuamente forçado a pensar, montar estratégias de aulas, fazer a pergunta certa na hora certa, e deve estar sempre pronto para situações-problema novas. É desafiador, contudo o retorno poderá ser mais confortante e efetivo para a aprendizagem do aluno, já que nessa atividade ele é o responsável por todas as etapas do processo de aprendizagem.

Vale salientar também a importância de se lançar um problema aberto ao nosso aluno, onde ele não objetiva apenas um resultado numérico final, mas sim uma sequência de raciocínios que o valoriza nesse processo de formação do conhecimento. As observações feitas em sala de aula foram registradas, analisadas e podem ser encontradas no texto da dissertação de mestrado [9] de onde este artigo foi retirado. A análise dos episódios mostrou que houve discussões e argumentações entre os integrantes dos grupos, proporcionadas pelo modelo de atividade desenvolvida com eles, despertando o interesse pela aula que relacionou um assunto da física com situações que fazem parte do seu cotidiano.

Notas

¹Metrologia (*metrology/métrologie*): ciência da medição e suas aplicações. Vocabulário Internacional de Metrologia, 3ª ed, IPQ, Novembro 2008.

²Esse tema pode ser desenvolvido no Ensino Médio, como também em algumas séries do ensino fundamental, de acordo com os pré-requisitos necessários, seguindo a proposta do professor.

³A atividade está integrada ao conjunto de material produzido pelo grupo PROENFIS, grupo que tem produzido e avaliado materiais para ensino de física e que publicou o livro *Temas Para o Ensino de Física com Abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)* [6], ou on line: <http://proenfis.pro.br/> (apoio FAPERJ).

Referências

- [1] E.S.L. Zuin, *Por Uma Nova Arithmetica: O Sistema Métrico Decimal Como Um Saber Escolar em Portugal e no Brasil Oitocentistas*. Tese de Doutorado, PUC-SP, 2007, disponível em <https://sapientia.pucsp.br/bitstream/handle/11205/1/Elenice%20de%20Souza%20Lodron%20Zuin.pdf>.
- [2] I. Silva, *História dos Pesos e Medidas* (EdUFSCAR, São Carlos, 2004), p. 22.
- [3] A.M.P. Carvalho, in: *Anais do XIV Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino* (Porto Alegre, 2008), p.115.
- [4] G.S. Aikenhead, in: *STS Education: International Perspectives on Reform*, edited by J. Solomon and G.S. Aikenhead (Teachers College Press, New York, 1994), p.47.
- [5] W.L.P. Santos e E.F.Mortimer, *Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências* **2,2** (2002).
- [6] D.M.Vianna e J.R.R. Bernardo (orgs.), *Temas Para o Ensino de Física Com Abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)* (Bookmakers, Rio de Janeiro, 2012), p. 12, disponível em <http://proenfis.pro.br/>.
- [7] Atenção consumidor. Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=u_Pt_yum-g, acesso em 18 abril 2017.
- [8] Irregularidades nos pesos e medidas dos produtos. Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=RxImiaAfoi4&feature=relmfu>, acesso em 18 abril 2017.
- [9] S.S. Fernandes, *Uma Proposta de Atividade Investigativa Envolvendo Sistema Métrico*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012, disponível em http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2012_Sandro_Fernandes/dissertacao_Sandro_Fernandes.pdf.

VI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS) I International School on Physics Teaching (ISPT) Centro Internacional de Física da Matéria Condensada (CIFMC) Instituto de Física (IF-UnB) 07 a 10 de Agosto de 2017



Comitê Científico

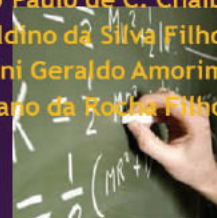
Ademir E. de Santana (UnB)
Ariane Baffa Lourenço (UFGD)
Ana Rita Pereira (UFG)
Deise M. Vianna (UFRJ)
Iramaia J. C. de Paulo (UFMT)
Marcello Ferreira (UniPampa)
Marco Antônio Amato (UnB)
Marco Antônio Moreira (UFRGS)
Maria de Fátima da S. Verdeaux (UnB)
Nelson Studart Filho (UFABC)
Olavo Leopoldino da Silva Filho (UnB)
Olival Freire Junior (UFBA)
Viktor Dodonov (UnB)



Programa
Minicursos
Palestras convidadas
Apresentação de trabalhos
Homenagem ao Prof. Marco A. Moreira

Comitê Organizador

Maria de Fátima da S. Verdeaux (UnB)
Ademir E. de Santana (UnB)
Adriana P. Ibaldo (UnB)
João Paulo de C. Chaib (UCB)
Olavo Leopoldino da Silva Filho (UnB)
Ronni Geraldo Amorim (UnB)
Tarcísio Marciano da Rocha Filho (UnB)



Inscrições e informações: <http://cifmc.fis.unb.br/viefras/>

Apoio



Cartaz: A.P.I.

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



<http://sbfisica.org.br/~mnpef>

O Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) é um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na área de física. É uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Física (SBF) com o objetivo de coordenar diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País.

O objetivo é capacitar em nível de mestrado uma fração muito grande professores da Educação Básica quanto ao domínio de conteúdos de Física e de técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula como, por exemplo, estratégias que utilizam recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos.

A abrangência deste Programa pretende ser nacional e universal e estar presente em todas as regiões do País, sejam elas localizadas em capitais ou estejam afastadas dos grandes centros. Fica então clara a necessidade da colaboração de recursos humanos com formação adequada localizados em diferentes IES. Para tanto, este Programa estará organizado em Polos Regionais, hospedados por alguma IES, onde ocorrerão as orientações das dissertações e serão ministradas as disciplinas do currículo. Fica igualmente claro que o esforço necessário para este mestrado requer também a participação e/ou colaboração de centros já existentes onde ocorrem mestrados profissionais em ensino de física.