

Carta do Editor

Este número retoma a circulação semestral da FnE e está cheio de atrações. A estratégia instrucional mais em moda atualmente, a “Sala de Aula Invertida”, combinada com outras metodologias ativas como “Instrução pelos colegas” e “Ensino sob Medida”, é objeto de primoroso artigo dos autores Tobias E. de Oliveira, Ives S. Araujo e Eliane Veit, do Instituto de Física da UFRGS, pioneiro e tradicional na área de ensino de física. Vale a pena acessar a página do grupo e, em especial, a página do CREF (<http://www.if.ufrgs.br/cref/>) e seus textos de apoio ao professor e instigantes questões de física respondidas e comentadas por Fernando Lang. O referido professor assina um artigo sobre questão recorrente no CREF acerca de assunto negligenciado na literatura: o fenômeno da vaporização.

Galileu é uma figura emblemática no ensino de física. Nesse número contamos com dois artigos que tratam de seu papel na física. A hipótese do historiador de que no livro *Il Saggiatore* encontram-se as causas para as condenações de Galileu é explorada por Felipe Damásio e Luis Peduzzi para discutir o processo da Igreja contra Galileu. O artigo apresenta ainda uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para aplicação nas aulas de física. E a sempre atual questão do plano inclinado é discutida por Luiz Genovese e Jefferson da Cunha por meio da proposta de construção e uso do famoso experimento com materiais acessíveis aos alunos. Nessa mesma linha, o artigo de Éwerton Ferreira, Ana Paula Bispo e Luciano do Nascimento apresenta a construção de uma bobina para o ensino experimental da indução eletromagnética.

O relato de uma atividade didática da óptica geométrica que consiste no estudo da projeção de sombras do espetáculo de dança *Gravité* é feito por Jair Lúcio

Ribeiro. Uma excelente proposta lúdica para tratar um assunto considerado enfadonho por muitos alunos e alguns professores da forma como, em geral, é discutido nos livros didáticos.

Os dois Paulos, Bedaque e Bretones, especialistas no ensino da astronomia, respondem com propriedade àquela questão costumeira já introduzida aos alunos nos primeiros anos escolares: “Onde nasce o Sol?”. Mostram como a posição do nascimento do Sol varia em função da latitude e nas várias estações do ano e propõem modelos didáticos, aparatos instrucionais e simuladores para uso na escola.

O relato de construção de um *blog* como intermediador na ensinagem de conceitos de física em uma escola do Ceará foi feito por Alex Farias e Gladeston Leite, alunos-professores do MNPEF. O artigo também apresenta uma análise da repercussão do projeto junto aos alunos.

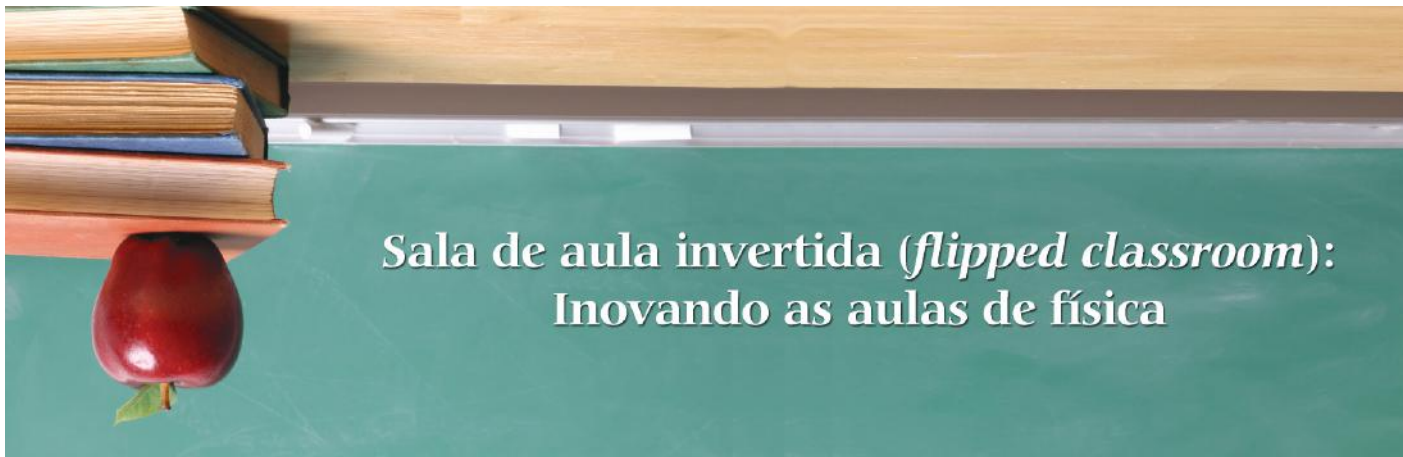
Ao final, Alexandre Medeiros reúne sua equipe para a continuação da entrevista com Einstein por ocasião das comemorações dos 100 anos da relatividade geral agora com a questão atual, tendo em vista sua detecção pelo LIGO, das ondas gravitacionais. O leitor terá oportunidade de acompanhar as ideias de Einstein de forma divertida e com correção conceitual.

A Equipe Editorial agradece a contribuição dos autores na retomada da FnE e aguarda submissões por parte de novos e antigos colaboradores. Aos novos, é solicitada a observância das diretrizes apontadas nas instruções no portal: o conteúdo deve ser de interesse de professores do Ensino Fundamental e Ensino Médio; linguagem clara, concisa e acessível ao público-alvo, de preferência artigo curto e atraente; incentivo ao uso de ilustrações. Uma consulta às edições anteriores é recomendada.

Nelson Studart

O portal da FnE está reformulada e tem novo endereço:
<http://www1.fisica.org.br/fne/>

Acompanhe também nossa página no facebook
<https://www.facebook.com/fne2016fisicanaescola/?fref=ts>



Sala de aula invertida (*flipped classroom*): Inovando as aulas de física

.....

Tobias Espinosa de Oliveira

Instituto de Física, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Porto
Alegre, RS, Brasil.

E-mail: tobias.espinosa@ufrgs.br

Ives Solano Araujo

Instituto de Física, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Porto
Alegre, RS, Brasil.

Bolsista do CNPq – Brasil.

E-mail: ives@if.ufrgs.br

Eliane Angela Veit

Instituto de Física, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Porto
Alegre, RS, Brasil.

E-mail: eav@if.ufrgs.br

.....

Aulas puramente expositivas, com alunos passivos e comumente inibidos a qualquer ação interativa. Esse retrato do ensino tradicional diverge do perfil dos alunos atuais, os quais, em sua maioria, estão constantemente conectados à internet, com acesso fácil à informação e habituados a ambientes interativos, sejam eles virtuais ou presenciais. Uma possível correção a essa dissonância se encontra na inversão da sala de aula, o que significa que os alunos tomam contato com o conteúdo em casa e o tempo disponível em aula que, tradicionalmente, é ocupado por longas exposições orais do professor, é utilizado para que os alunos estudem, interagindo ativamente com seus colegas e professor. O presente artigo apresenta a metodologia de ensino conhecida como Sala de Aula Invertida e diferentes métodos que permitem essa inversão no ensino de física. Discutimos os motivos que podem incentivar o professor de física a modificar a sua prática, bem como as principais dificuldades que ele pode encontrar nesse percurso.

Introdução

Comumente ouvimos os professores dizendo: “nossos alunos não são mais como os de antigamente”. E, de fato, não são. Sobretudo, os alunos de hoje não são os mesmos para os quais o nosso sistema educacional foi criado [1]. Em seu dia a dia, muitos estão constantemente conectados a redes sociais e acostumados ao acesso direto a informações em seus *smartphones*, *tablets* ou computadores, tão logo tenham algum interesse em buscá-las. Para eles, longas aulas expositivas centradas no professor, com poucas possibilidades de interação e elevado grau de passividade, são altamente desmotivadoras e carentes de significado. Dentre os inúmeros desafios enfrentados pelos professores para promover uma aprendizagem significativa dos conteúdos, a divergência entre o perfil dos alunos atuais e o modelo de ensino ocupa posição importante. A questão que se apresenta é: *como fazer diferente?*

Certamente não há uma única resposta para esta questão. Pesquisadores e professores de diversas áreas, em particular do ensino de física, vêm envidando esforços para mudar a sala de aula por meio de uma aprendizagem mais ativa (*active learning*). Aprendizagem ativa, neste contexto, envolve a realização de atividades de ensino que permitam aos alunos se engajarem cognitivamente e refletirem ao longo do processo sobre aquilo que estão fazendo [2]. Dentre diversas possíveis formas de se implementar tais atividades, uma metodologia de ensino em particular tem ganho destaque nos últimos anos: a Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*)

[3]. Nela, os alunos entram em contato com os tópicos a serem discutidos em sala através de atividades prévias às aulas. Isso pode ser feito em casa, por exemplo, por meio de leituras e/ou visualização de vídeos indicados pelo professor e algumas questões sobre o conteúdo tratado nesses recursos. Em sala de aula, os alunos, usualmente de forma colaborativa, realizam atividades experimentais, de simulação computacional e/ou resolução de problemas, por exemplo. Ao “inverter” a aula, ou seja, centrar o ensino nos alunos e ressignificar o papel do professor para além da transmissão de informações, ganha-se tempo em sala para que atividades mais nobres aconteçam, tais como discussões pormenorizadas sobre conceitos físicos e atenção a dificuldades específicas apresentadas pelos alunos.

Por isso, é importante que mais professores conheçam maneiras para diversificar as suas práticas e se sintam motivados a fazê-lo. Não existe apenas uma forma de inverter a sala de aula. O docente precisa ter liberdade para escolher entre diferentes métodos de ensino e, de forma crítica, modificá-los quando necessário

para que possam ser aplicados em seu contexto educacional.

Apesar da ampla divulgação alcançada pela “sala de aula invertida”, muitas vezes são difundidas concepções equivocadas ou incompletas que dificultam sua adoção por parte de

professores interessados em modificar suas aulas. Além disso, mesmo que a inversão da sala de aula possa ser feita em praticamente qualquer disciplina [4], existem desafios particulares a cada uma delas.

O presente artigo tem como propósito

Os alunos de hoje não são os mesmos para os quais o nosso sistema educacional foi criado. E muitos deles estão constantemente conectados a redes sociais e acostumados ao acesso direto a informações em seus smartphones, tablets ou computadores, tão logo tenham algum interesse em buscá-las

apresentar a “sala de aula invertida” e discutir alguns desafios e possibilidades de sua implementação em aulas de física.

Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom)

O termo *Flipped Classroom*, ou, em uma tradução livre, “Sala de Aula Invertida”, é comumente associado aos trabalhos dos professores norte-americanos Bergmann e Sams, que publicaram um livro [3] onde divulgaram uma maneira de inverter a sala de aula, na qual as tradicionais exposições orais do professor são substituídas por vídeos a serem assistidos pelos alunos fora da sala de aula. No livro, os professores Bergmann e Sams, através da experiência acumulada em anos ensinando química em escolas de Ensino Médio, buscam incentivar e auxiliar a mudança na prática docente. Apesar de serem uma referência no que diz respeito à Sala de Aula Invertida, os próprios autores destacam que o termo não pertence a nenhum professor ou pesquisador específico, e que diversos métodos já existentes poderiam ser caracterizados como formas de inversão da sala de aula [3]. Mas, afinal, o que é a Sala de Aula Invertida?

A Sala de Aula Invertida é uma metodologia de ensino que inverte a lógica tradicional de ensino. O aluno tem o primeiro contato com o conteúdo que irá aprender através de atividades extraclases, prévias à aula. Em sala, os alunos são incentivados a trabalhar colaborativamente entre si e contam com a ajuda do professor para realizar tarefas associadas à resolução de problemas, entre outras [3].

O contato inicial com a informação pode ser feito por meio de vídeos, textos ou qualquer outro material de apoio, os quais o professor pode disponibilizar *online*. Em aulas tradicionais, um breve momento de distração do estudante durante a exposição do professor, pode ser suficiente para dificultar uma compreensão adequada de alguma explicação. Em contrapartida, na Sala de Aula Invertida, o aluno, em casa, estuda em seu próprio ritmo, tendo a opção de pausar o vídeo e reproduzi-lo quantas vezes achar necessário ou, em caso de textos, reler diversas vezes o que não compreendeu. Em caso de dúvida, o aluno tem a possibilidade de recorrer a outras fontes de informações (e.g. páginas da internet, vídeos, livros, etc.). Além disso, recomenda-se que o professor peça aos alunos que escrevam e enviem suas dúvidas para que ele possa abordá-las na aula.

Em sala de aula, o foco é voltado à aplicação dos conceitos estudados em casa pelos alunos. Como já mencionado, isso

pode ser feito através de resolução de problemas, atividades experimentais e/ou de simulações computacionais, etc. Nessas tarefas, estimula-se a interação aluno-aluno e aluno-professor, havendo uma alteração tanto no papel do professor quanto do aluno. Como bem reiteram Bergmann e Sams [3], “o papel do professor em sala é auxiliar os estudantes, e não transmitir a informação”. Por sua vez, o aluno assume uma postura ativa e, muitas vezes, contribui para a aprendizagem de seus colegas por meio de suas explicações.

A crescente popularização da Sala de Aula Invertida faz com que cada vez mais professores a adotem; em contrapartida, comumente são disseminadas ideias equivocadas a seu respeito. Comentamos algumas delas [5] na sequência.

A Sala de Aula Invertida não é algo inédito e não existe uma única maneira de inverter a sala de aula

Inovações na sala de aula não são tão recentes quanto parecem. No final do Século XX, por meio do método de estudos de caso, começaram a aparecer as primeiras iniciativas de cobrir a informação fora da sala de aula e de práticas orientadas em sala. Um dos métodos de inversão de sala de aula mais difundidos no ensino de física, o Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) [6], teve origem na década de 1990. Outros métodos, como o Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*) [7], Aprendizagem Baseada em Equipes (*Team-Based Learning*) [8], Aprendizagem Baseada em Projeto (*Project-Based Learning*) [9] e Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem-Based Learning*) [10] têm origem entre as décadas de 70 e 90. Alguns desses métodos serão apresentados brevemente mais adiante. Podemos retroceder ainda mais no tempo com Sócrates (469 a.C.–399 a.C.), que propunha o diálogo ativo através de discursos maiêuticos (método socrático), os quais induzem o interlocutor a pensar, agir e refletir por si mesmo. Se pensarmos bem, talvez o estranho seja a insistente preeminência de aulas centradas no professor e com alunos passivos.

Inverter a sala de aula não implica necessariamente no uso de videoaulas

Utilizar vídeos no estudo de casa dos alunos é apenas uma possibilidade. Como já comentado, em vez de assistir um vídeo, o professor pode pedir para o aluno ler um texto, por exemplo. E não se trata apenas de disponibilizar vídeos ou textos aos estudantes, inverter a sala de aula também

diz respeito ao que se faz com o estudo prévio. Para isso, o docente pode orientar alguma atividade, como pedir para que os alunos façam anotações sobre o que estão estudando, elaborem perguntas, ou que respondam algumas questões. O docente, de posse das informações provenientes do estudo dos alunos, consegue mapear as dificuldades apontadas e, assim, preparar explicações pontuais a serem proferidas em sala de aula. É imprescindível salientarmos que a Sala de Aula Invertida não se restringe ao uso de vídeos, e tão pouco elimina o papel do professor no processo de ensino e aprendizagem.

São diversas as potencialidades relacionadas à inversão das aulas de física. Na próxima seção discorreremos sobre alguns motivos pelos quais o professor pode ser incentivado a modificar a sua prática.

Por que inverter as aulas de física?

A mudança nas aulas de física pode advir da percepção docente dos benefícios atrelados a ela. Nesse sentido, expomos alguns motivos para se inverter a sala de aula.

A Sala de Aula Invertida ressignifica o papel do professor

Em aulas tradicionais, normalmente o professor assume o papel de transmissor de informação, dispendendo boa parte do tempo em sala de aula comunicando verbalmente conceitos físicos e escrevendo a solução de exercícios resolvidos no quadro. Em meio a alunos nascidos na era da internet e com acesso a ferramentas de tecnologia da informação, a disseminação de informações pode ser feita de forma mais eficiente em contextos educacionais que saiam da zona de carência absoluta de condições materiais. O próprio estudante, além de ter acesso aos livros textos distribuídos no PNLD, pode acessar a informação com poucos toques em seu *smartphone* se tiver interesse. Na Sala de Aula Invertida, o docente torna-se responsável por criar, selecionar e organizar o estudo, bem como auxiliar os estudantes, sanando as dúvidas deles e concentrando mais atenção às especificidades de cada um nos encontros presenciais. O professor de física, dispondo do tempo ganho em sala de aula ao diminuir consideravelmente o tempo destinado às exposições orais, pode concentrar-se em orientar atividades em sala de aula focadas no engajamento cognitivo dos estudantes e no estímulo da autonomia discente, enriquecendo assim sua prática.

Inverter as aulas coloca o aluno no centro do processo educativo

Em aulas convencionais, o professor é o centro do processo educativo; a atenção está voltada para ele na maior parte do tempo. Na Sala de Aula Invertida os alunos ocupam posição central. O professor passa a se importar menos sobre como vai expor determinado conteúdo, e mais a respeito das atividades que serão desenvolvidas pelos estudantes para construírem seus conhecimentos. Os alunos se tornam corresponsáveis tanto pela própria aprendizagem quanto pela dos colegas. Quando estão em casa, são encarregados de se prepararem para as atividades que serão desenvolvidas em sala de aula [11]. Em classe, são responsáveis por ajudar os colegas nas atividades e contribuir para as discussões orientadas pelo professor, o que, por sua vez oportuniza a consolidação do que está sendo por eles aprendido.

Na sala de aula invertida são levados em consideração os conhecimentos prévios dos alunos

Conforme apontado por Ausubel [12], o fator isolado mais importante para a aprendizagem é aquilo que o estudante já sabe. Em aulas tradicionais, as possíveis tentativas do professor de acessar os conhecimentos prévios dos estudantes podem ser bastante restritas devido ao tempo limitado que ele dispõe em classe. Na Sala de Aula Invertida, as dificuldades e dúvidas enfrentadas pelos alunos em seus estudos em casa são levadas ao conhecimento do professor, que as usa para planejar as atividades a serem realizadas nos encontros presenciais. As dúvidas e erros percebidos na fase de preparação são ponto de partida e combustível para as discussões em classe.

A Sala de Aula Invertida lida com a heterogenia na sala de aula

Muitas vezes, as aulas preparadas com métodos de ensino tradicionais têm por alvo um “aluno médio” hipotético, situado em posição intermediária entre os alunos que apresentam mais facilidade de compreensão e os que apresentam menos. Ao não levar em consideração as especificidades dos alunos reais, não raro as atividades de ensino terminam por não atingir ninguém. Na sala de aula invertida, a heterogenia, usualmente presente na maior parte das turmas, além de ser levada em consideração, através do acesso aos conhecimentos prévios dos alunos, é bem-vinda por instigar as discussões entre os colegas. Hipoteticamente, se todos

os alunos fossem iguais e soubessem tudo, nada haveria para ser debatido; de maneira análoga, se todos os alunos tivessem dificuldades muito grandes na compreensão dos conceitos, a discussão também poderia ser prejudicada. A diversidade beneficia os alunos que naquela ocasião compreenderam mais rapidamente o conteúdo e têm a chance de consolidar sua própria aprendizagem ensinando, e também auxilia aqueles que apresentaram dificuldades, que aprendem com seus colegas e, por meio de suas dúvidas, estimulam as discussões. É importante frisar que tais papéis assumidos pelos estudantes não são necessariamente fixos, podendo se alternar ao longo da realização das atividades.

Métodos ativos de ensino baseados no modelo de sala de aula invertida podem auxiliar no desenvolvimento de hábitos de estudos nos estudantes

Em diversos contextos educacionais, os estudantes não estão acostumados a estudar em casa, a não ser na véspera da prova, quando muito. Na sala de aula invertida, todo o conteúdo que os alunos estudariam na véspera de alguma tarefa de avaliação classificatória é dividido em pequenas partes que não o sobrecarregam. Eles podem ler algumas páginas do livro-texto (duas ou três seções) ou assistir um vídeo curto (menos de 20 minutos de duração), por exemplo. Através das tarefas de preparação prévia, os alunos tendem a adquirir o hábito de estudar, não tendo que dedicar esforços, altamente desgastantes e pouco eficazes horas antes de algum exame [13].

Salas de aula invertidas auxiliam os alunos no desenvolvimento da capacidade de reflexão e da habilidade de elaborar boas perguntas

Saber elaborar boas perguntas é tão importante quanto saber respondê-las [11]. Para desenvolver tal habilidade é essencial que o aluno consiga refletir sobre aquilo que está estudando. Em aulas tradicionais, o professor dita o ritmo, e os alunos interessados tentam acompanhar as explicações. Esse tipo de abordagem, muitas vezes, causa no discente um sentimento equivocadamente de que entendeu o conteúdo e, não raramente, quando tenta aplicar esse conhecimento, percebe que não o entendeu. Na Sala de Aula Invertida o ritmo é dado, em parte, pelo estudante. A partir do contato prévio com o conteúdo, ele tem tempo para pensar sobre o que está estudando. Além disso, ao pedir para que os alunos elaborem perguntas sobre

o conteúdo do material de estudo, o professor está estimulando o desenvolvimento tanto da capacidade de reflexão quanto da habilidade de elaboração de perguntas. Essa prática, em contrapartida com o método tradicional, pode causar no aluno uma sensação de desconforto, ou seja, ele se sente confuso ao perceber que aquilo que achava que tinha compreendido corretamente, na verdade não estava claro. No entanto, como bem destacam Dowd e cols. [14], tal sentimento pode ser uma indicação de engajamento metacognitivo, o que pode contribuir na aprendizagem.

A inversão na sala de aula pode estimular o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao trabalho colaborativo

Não basta que os alunos aprendam os conteúdos e a resolver problemas de física, é essencial na sociedade contemporânea que as pessoas adquiram habilidades relacionadas ao trabalho colaborativo, como por exemplo: saber ouvir e comunicar ideias, contribuir em discussões, respeitar e ser flexível diante de conflitos. Adicionalmente, segundo Vygotsky [15], o processo de ensino e aprendizagem se constrói por meio de interações sociais, as quais podem acontecer entre o professor e os alunos, mas, também por interações entre os próprios alunos. Na Sala de Aula Invertida, o tempo em classe pode ser destinado à resolução de problemas de física, em pequenos grupos, mediadas pelo professor. Com isso, os alunos podem resolver tarefas colaborativamente que talvez não fossem capazes sozinhos. Além disso, ajuda a aprenderem a explicar de maneira que outras pessoas possam entender [11].

Os aspectos mencionados anteriormente não esgotam potencialidades advindas da inversão das aulas de física. Pesquisas em ensino de física mostram que os métodos ativos de ensino podem melhorar a compreensão de conceitos físicos [e.g. 16-19], diminuir as taxas de reprovação e evasão [e.g. 20-21], bem como desenvolver atitudes positivas em relação às aulas de física, se comparadas com aulas tradicionais [e.g. 18, 19]. Na próxima seção, descrevemos alguns dos métodos ativos de ensino que estão gerando os resultados para o ensino de física aqui apontados.

Diferentes métodos ativos para inverter as aulas de física

Não há maneira infalível de ensinar física (ou qualquer conteúdo que seja), tampouco um único método de inverter

a sala de aula. O professor, conhecendo diferentes abordagens, tem a possibilidade de decidir qual delas se ajusta melhor ao seu contexto de ensino. Nesta seção, apresentamos alguns métodos ativos de ensino que vêm mostrando resultados na inversão das aulas de física, salientando informações que podem ser úteis às suas respectivas implementações.

Invertendo a sala de aula com o uso de vídeos

O método de inversão da sala de aula desenvolvido pelos professores Bergmann e Sams [3], cuja principal estratégia é o uso de vídeos, é, possivelmente, um dos mais conhecidos e difundidos pela mídia. Um dos motivos que o tornou popular é a sua simplicidade.

Neste método, os alunos, em casa, assistem a um vídeo de 10 a 15 minutos com o conteúdo a ser estudado. Enquanto olham o vídeo, fazem anotações e formulam perguntas para levarem à sala de aula. Em classe, nos primeiros 10 minutos, o professor esclarece as dúvidas dos estudantes e, em seguida, os envolve em atividades de resolução de problemas, experimentais e/ou de simulações computacionais, as quais são realizadas em pequenos grupos. Nesse processo, o professor circula pela sala de aula orientando os alunos e ajudando-os a sanar suas dúvidas.

O professor que decidir implementar esse método em suas aulas de física pode produzir seus próprios vídeos e disponibilizá-los aos alunos ou usar vídeos prontos disponíveis na internet. Para criá-los, duas opções básicas se destacam: filmagem das exposições orais feitas pelo professor para uma turma real ou apenas para câmera; e também a captura de som e imagem do computador por meio de *softwares* específicos, como o Jing¹, Camtasia Studio², CamStudio³ ou RecordMyDesktop⁴. Ao optar pela captura de tela, pode criar apresentações de *slides* ou escrever na tela do computador, utilizando uma mesa digitalizadora e um *software* adequado, como o Smooth Draw⁵. A escrita (ou desenho) na tela, uma das técnicas mais utilizadas em videoaulas atualmente, torna a explicação dinâmica, possibilitando que o estudante acompanhe as construções do professor, como se estivesse frente a um quadro negro. Tanto a filmagem do próprio professor, quanto a captura de imagem e som no computador, podem ser combinadas para a produção dos vídeos que também podem contar com a adição de materiais preexistentes.

A construção de vídeos pode ser uma tarefa desafiadora para os professores, tanto devido à falta de tempo, quanto pela

falta de domínio das ferramentas necessárias. Nesse caso, o docente pode se valer de vídeos disponíveis gratuitamente no YouTube. Dentre os vários canais de física de qualidade, estão: O Kuadro (Fig. 1 (a)), FabrisFísica (Fig. 1 (b)), Me Salva! (Fig. 1 (c)) e, no âmbito da divulgação científica, Veritasium (Fig. 1 (d)), que apesar de ser em inglês possibilita a inserção de legenda em português. Esses canais não esgotam a quantidade de bons vídeos disponíveis na internet, que cresce a cada dia.

A Sala de Aula Invertida de Bergmann e Sams é apenas uma das muitas alternativas de se inverter as aulas de física. A seguir, apresentamos o *Just-in-Time Teaching* (Ensino sob Medida).

Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching)

O *Just-in-Time Teaching*, ou em uma tradução livre Ensino sob Medida (ESM), foi desenvolvido pelo professor de física Gregor M. Novak e seus colaboradores na IUPUI (Indiana University-Purdue University Indianapolis) e na Academia da Força Aérea, ambas nos EUA [7]. O método propõe, com o auxílio da tecnologia, conectar tarefas preparatórias realizadas fora da sala de aula com a dinâmica estabelecida dentro dela. Os alunos, em casa, se preparam para as aulas; o professor, por sua vez, prepara suas aulas “sob medida” por meio do *feedback* que recebe dos alunos.

Nas palavras de Novak e cols. [7, p. 33, tradução nossa], o “Ensino sob Medida consiste em uma mistura cuidadosamente orquestrada de atividades de aprendizagem”. Os estudantes realizam algumas dessas atividades fora da sala de

aula, em um ritmo próprio. Eles estudam um material indicado (e.g. seções do livro-texto, vídeo) e respondem a algumas questões. As respostas são enviadas eletronicamente ao professor, que as utiliza para organizar as atividades de sala de aula. A dinâmica da sala de aula varia, podendo contar com pequenas exposições orais do professor, demonstrações experimentais, simulações computacionais e resolução de problemas em pequenos grupos. O ESM não é rígido e pode ser acoplado a outros métodos ativos de ensino, ou seja, não existe uma única maneira de usá-lo. No entanto, seja qual for a dinâmica estabelecida em sala de aula, ela deve levar em conta as respostas dos alunos às tarefas de preparação. O aspecto essencial do ESM é a conexão entre o que feito fora e dentro da sala de aula [7].

A seguir, descrevemos detalhadamente as tarefas extraclases e em classe que compõem o método, tanto do ponto de vista do estudante, quanto do professor.

Atividades extraclases

As atividades extraclases são fundamentais na aplicação do método. Por meio das respostas advindas das tarefas de preparação, o professor determina a maneira pela qual a física é apresentada e discutida em sala de aula.

Inicialmente, o professor envia alguma tarefa aos alunos, com pelo menos dois dias de antecedência, geralmente a indicação de algum texto e em torno de três questões conceituais a serem respondidas e enviadas pelos alunos, por um meio eletrônico. O docente pode solicitar a leitura de algumas seções do livro ou indicar algum texto ou vídeo *online*. Seja

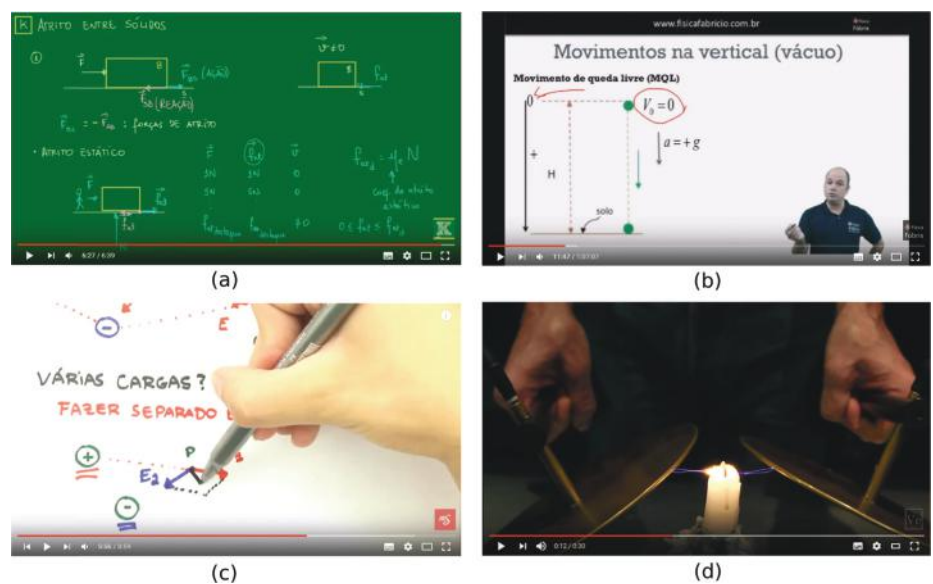


Figura 1: Alguns canais do YouTube com vídeos que podem ser usados nas disciplinas de física. (a) O Kuadro. (b) FabrisFísica. (c) Me Salva!. (d) Veritasium.

qual for a ferramenta, o conteúdo não pode ser demasiadamente extenso (em média cinco páginas, no caso de um texto) e deve ter uma linguagem clara. Entre as questões, é imprescindível que uma delas seja uma pergunta de *feedback* sobre o entendimento do material indicado [22]. A questão de *feedback* pode ter a redação exposta na Fig. 2.

Sobre as questões referentes ao conteúdo estudado, elas podem ser de dois tipos: *WarmUps* e *Puzzles* [7].

As questões do tipo *WarmUp* (ou em uma tradução livre questões preparatórias) são o coração do método EsM, pois oferecem ao aluno uma visão reflexiva do novo conteúdo de física que está sendo estudado e impulsionam as atividades de sala de aula. São questões que abordam aspectos conceituais centrais sobre o conteúdo e podem, em alguns casos, apresentar uma situação ligada ao cotidiano, sem utilizar muitos termos físicos. Ao responderem às questões *WarmUp*, deseja-se que os estudantes sejam capazes de saber sobre quais assuntos será a aula, de entender e descrever as situações representadas na questão e de refletir sobre as respostas, podendo não ter certeza sobre elas, nem saber todos os detalhes.

As *WarmUps* podem ser de três tipos: dissertativa (Fig. 3), estimativa (Fig. 4) e múltipla escolha (Fig. 5). Cada uma delas atende a objetivos diferentes. As questões dissertativas incentivam os estudantes a entenderem conceitos físicos e aplicá-los a problemas ligados ao mundo real. Os alunos são encorajados a expressar, através da escrita, relações entre diferentes grandezas, e a não usarem equações, auxiliando no desenvolvimento de habilidades de comunicação. As questões de estimativa servem para os estudantes aprenderem a resolver problemas não estruturados, desenvolverem pensamento crítico e adquirir certa intuição sobre os fenômenos físicos. Por sua vez, as questões de múltipla escolha, ao contrário das dissertativas, levam o estudante considerar várias possibilidades, explorando possíveis concepções alternativas sobre o conceito que está em estudo. Inclusive, questões de múltipla escolha são boas para iniciar discussões em sala de aula considerando o que está errado em cada uma das alternativas incorretas.

As questões do tipo *Puzzle* normalmente necessitam a articulação de diferentes conceitos para serem solucionadas. A principal diferença entre questões do tipo *Puzzle* e *WarmUp* é a complexidade da questão e a precisão esperada nas respostas [7]. O *WarmUp* serve para introduzir e fazer o estudante refletir sobre um novo

conteúdo que ainda não foi discutido em sala de aula, enquanto o *Puzzle* encerra ou revisa um tópico e articula diferentes conceitos estudados. O *WarmUp* está diretamente conectado ao material de estudo; o *Puzzle* pode requerer informações adicionais e leva em consideração as discussões já estabelecidas em aulas anteriores. Esse tipo de questão pode ser usado também em classe para fomentar

discussões em pequenos grupos.

Os *Puzzles* podem ser adaptados de vestibulares, ENEM e livros-textos. As questões conceituais propostas por Mazur [6] e os testes sobre concepções relativas à força e movimento [26] e corrente elétrica em circuito simples [27], por exemplo, também são boas fontes para questões. Adicionalmente, uma breve pesquisa no Google pode ajudar o professor a en-

Em sua leitura do material indicado, você achou alguma coisa confusa? Em caso afirmativo, explicita, entrando em detalhes, aquilo que você achou mais confuso. Caso você não tenha achado nada confuso em relação ao conteúdo estudado, diga o que mais lhe despertou interesse na leitura. Nesse espaço, você também pode fazer perguntas.

Figura 2: Exemplo de questão de *feedback* do entendimento do material da tarefa de preparação.

Uma pessoa localizada no norte do Canadá, mais precisamente sobre uns dos polos magnéticos da Terra, faz experimentos para verificar a orientação das linhas de indução magnética que representam o campo magnético terrestre na superfície da Terra. A pessoa constatará que as linhas de indução são paralelas, perpendiculares ou inclinadas em relação à superfície? Serão linhas entrando ou saindo da superfície da Terra? Explique o porquê de suas respostas.

Figura 3: Exemplo de questão *WarmUp* dissertativa [23].

Um carro derrapa até parar com os freios bloqueados e deixa marcas de derrapagem de 30 m de comprimento. Que informações sobre o carro a polícia precisa para ser capaz de estimar o quão rápido o carro estava viajando quando o motorista pisou no freio? Explique o porquê de sua resposta.

Figura 4: Exemplo de questão *WarmUp* de estimativa [24, tradução nossa].

A velocidade de uma onda em uma corda depende

- da amplitude da onda
- das propriedades materiais da corda
- de ambas acima
- de nenhuma acima

Figura 5: Exemplo de questão *WarmUp* de múltipla escolha [6].

contrar questões pertinentes. O fator mais importante é que exista relação entre as questões e as atividades que serão propostas para a sala de aula. A Fig. 6 apresenta um exemplo de *Puzzle*.

Outras atividades podem ser acopladas para enriquecer as atividades de casa, como: simulações interativas (e.g. PhET⁶), textos e discussões *online* que motivem os estudantes (e.g. pergunte ao CREF⁷), notícias sobre acontecimentos da física, *podcasts* (e.g. Nerdcast, Dragões de Garagem, Scicast), *blogs* (ScienceBlogs Brasil) e canais do YouTube (Nerdologia, MinutoDaFísica, Manual do Mundo, Ciência Todo Dia) voltados à divulgação científica. Além disso, podem ser usadas listas de problemas. A escolha das atividades e a forma de apresentá-las variam de acordo com os objetivos do professor e da instituição.

O professor precisa enviar as atividades prévias aos alunos, que, por sua vez, precisam enviar as respostas ao professor. Uma forma eficiente e prática de fazê-lo é utilizar o Google Forms⁸, que consiste em uma ferramenta gratuita que permite criar formulários e disponibilizá-los *online* (enviando um *link* para os estudantes) para que possam ser respondidos. As respostas são organizadas em tabelas, às quais o autor do formulário tem acesso [28].

As respostas dos alunos precisam ser avaliadas pelo professor, mas não em termos de certo e errado, e sim em termos de raciocínio demonstrado e de engajamento com a atividade. O interessante é que os estudantes reflitam ativamente sobre o material estudado e enviem ao professor um *feedback* capaz de enriquecer as atividades de sala de aula.

De posse das respostas dos estudantes às tarefas de preparação, o professor pode adequar suas exposições orais. Algumas horas antes da aula, ele precisa analisar e selecionar as respostas que possibilitem uma melhor apresentação do conteúdo, o que não representa, necessariamente, as respostas corretas. Descrições que apontem concepções alternativas são boas fon-

tes de discussões em sala de aula. O professor pode ter uma aula preparada previamente, com vídeos, simulações, exemplos do cotidiano, demonstrações experimentais e ajustá-la, usando os recursos mais pertinentes aos apontamentos e dúvidas advindas da tarefa de preparação.

Atividades em classe

O aspecto mais importante é que a discussão dos *WarmUps* e *Puzzles* são a própria aula. O desenvolvimento das explicações das teorias e conceitos físicos está interligado com as questões propostas pelo professor e as respectivas respostas dos alunos [7]. Os estudantes precisam perceber que seus esforços para realizar a tarefa de preparação são a essência das aulas, assim, engajar-se-ão cada vez mais nas atividades. Com isso, as atividades em classe previstas pelo EsM se dividem em dois tipos complementares: aulas expositivas interativas e prática colaborativa.

As aulas expositivas interativas são exposições orais (normalmente divididas em pequenas etapas de aproximadamente 15 minutos) que o professor organiza utilizando as perguntas e respostas dos alunos à tarefa de preparação. A partir da análise feita, algumas horas antes da aula, a maneira como os conceitos físicos são apresentados é construída. Recomenda-se que sejam mostradas as respostas dos alunos (de forma anônima) e, a cada aula, respostas de alunos diferentes sejam utilizadas para que todos tenham suas colocações postas nas discussões. O professor, se possível, deve tentar não deixar perguntas sem respostas.

A prática colaborativa consiste em organizar os alunos em pequenos grupos para resolverem problemas. A preparação para essas aulas pode ser feita por meio

da resolução de problemas de livro-texto, por exemplo. No início da aula, em aproximadamente 20 minutos, o professor revisa os problemas de casa. Em seguida, os alunos são organizados em grupos e recebem novos e mais complexos problemas para resolverem. Recomenda-se que todos os grupos trabalhem no mesmo problema, facilitando assim a troca de informações entre os grupos.

Como mencionado anteriormente, o

EsM é um método flexível, o que implica que a prática colaborativa pode ser aplicada de diversas maneiras diferentes, inclusive com a junção de outros métodos ativos de ensino. A seguir, apresentamos dois métodos que, além de poderem ser utilizados individual-

mente, podem ser acoplados ao EsM: o Instrução pelos Colegas e a Aprendizagem Baseada em Equipes.

Instrução pelos Colegas (Peer Instruction)

O Ensino sob Medida (EsM) e o Instrução pelos Colegas (IpC) são dois métodos que vêm sendo utilizados em conjunto como uma forma de inverter as aulas de física [6]. O EsM orienta o professor em como realizar e tirar o melhor proveito do estudo prévio. O IpC, desenvolvido pelo professor de física de Harvard Eric Mazur [6], oferece subsídios para orientar as discussões de forma ativa em sala de aula, sendo uma opção para a prática colaborativa indicada pelo EsM.

No IpC, o professor apresenta um teste conceitual (*Puzzle*) aos alunos, os quais o respondem individualmente, utilizando algum sistema de votação. Em seguida, dependendo da quantidade de acertos, o professor instrui os alunos a tentarem convencer uns aos outros de suas respostas. Afinal, o sujeito que acabou de compreender determinado conceito pode ter uma forma diferente e, muitas vezes, mais eficiente que a do professor, de explicar àquele que ainda está com dificuldades de entendimento. O ensino (ou instrução) pelos colegas é o aspecto central do método. Por fim, o método prevê uma segunda votação, após a discussão entre os colegas.

Na Fig. 7, mostramos uma linha do tempo com a combinação do EsM e do IpC para uma determinada aula, extraída da Ref. [22]. Inicialmente o professor elabora a tarefa de preparação, denominada

As respostas dos alunos precisam ser avaliadas não em termos de certo e errado, mas em termos de raciocínio demonstrado e de engajamento com a atividade. Os estudantes devem refletir sobre o material estudado e enviar ao professor um *feedback* capaz de enriquecer as atividades de sala de aula

A respeito da magnetização da matéria, marque a alternativa correta:

- A temperatura do material favorece sua magnetização, uma vez que a agitação térmica tende a alinhar os ímãs elementares do material com o campo magnético externo.
- Nos materiais paramagnéticos os ímãs elementares, localizados dentro de regiões chamadas de domínios magnéticos, se alinham fracamente com um campo magnético externo.
- Os materiais ferromagnéticos podem permanecer magnetizados após ação de um campo magnético externo, fenômeno chamado de histerese magnética.
- Os materiais diamagnéticos possuem ímãs elementares permanentes, devido ao movimento orbital do elétron e de seu spin. Esses ímãs elementares se encontram aleatoriamente orientados, o que provoca intensa força atrativa entre o material e um campo magnético externo.

Figura 6: Exemplo de *Puzzle* [25].

por Araujo e Mazur [22] de Tarefa de Leitura (TL), e a envia para os estudantes. Os alunos, fora da sala de aula, leem o material, respondem às questões propostas pelo professor e as enviam. Esse processo inicial acontece de 2 a 7 dias antes da aula. Com aproximadamente 12 horas de antecedência à aula, o professor revisa as respostas dos alunos, planeja suas breves exposições orais e define os testes conceituais que irá usar durante a aula. Em classe, o professor inicia com uma exposição oral, enfatizando as dúvidas dos alunos referentes a um dos tópicos tratados na TL. Em seguida, apresenta uma questão conceitual, na qual os estudantes pensam individualmente em uma resposta e votam. O professor avalia a distribuição de respostas e, caso esta fique em torno de 30 a 70% de acertos, solicita que os alunos discutam a questão em pequenos grupos e convençam seus colegas sobre suas respostas. Feito isso, os estudantes votam novamente. Caso a distribuição seja menor que 30%, o professor pode discutir a resposta e apresentar uma nova questão conceitual sobre o mesmo tema. Se for maior que 70%, ele pode discutir a resposta com os alunos e passar para um novo tópico. Maiores informações sobre o IpC podem ser encontradas em Araujo e Mazur [22].

Na Aprendizagem Baseada em Equipes, a ideia central é que os alunos sejam ativos e se sintam responsáveis pela própria aprendizagem e pela dos colegas

Sobre os sistemas de votação, mencionamos três: os cartões de respostas (*flashcards*), os *Clickers* e os *Plickers*. O primeiro é o mais simples, o próprio professor pode confeccionar seus próprios cartões com as alternativas (A, B, C, D e E), podendo ter uma cor associada a cada letra para faci-

litar a identificação. A única desvantagem do uso dos cartões é que a contagem de acertos (a distribuição de respostas) tem que ser feita “no olho”. Os *Clickers* são dispositivos eletrônicos individuais (controles remotos) que se comunicam com o computador do professor. Com eles, o professor pode ter acesso facilitado à distribuição de respostas, pois a mesma aparece na tela de seu computador. O único problema é que esses dispositivos são caros e grande parte das escolas de Ensino Médio brasileiras não têm condições de comprá-los. Uma alternativa tecnológica e barata, que une as vantagens dos cartões de respostas e as dos *Clickers*, é o uso de *Plickers*. Nesse caso, o professor baixa um aplicativo em seu *smartphone* (cujo nome é *Plickers*), disponível gratuitamente para Android e iOS, e os alunos votam com cartelas de respostas que contêm um código similar ao *QR code* que o aplicativo é capaz de ler através da câmera do aparelho, correspondente a cada alternativa⁵ (Fig. 8 (a)). Na Fig. 8 (b) apresentamos a tela do aplicativo *Plickers* no momento da leitura do código impresso em uma folha. Cada cartela é numerada e são diferentes entre si. Deste modo, é possível designar uma cartela para cada aluno e registrar a evolução de suas respostas ao longo do tempo.

Os métodos EsM e IpC focam principalmente na compreensão conceitual; já outras formas de se inverter a sala de aula

abrem espaços para o desenvolvimento de outras habilidades essenciais ao ensino, em específico de física, como resolver problemas e trabalhar colaborativamente. Esse é o caso do método que apresentamos na subseção seguinte, o *Team-Based Learning*, ou, em uma tradução livre, Aprendizagem Baseada em Equipes, método desenvolvido pelo professor de gestão e negócios, Larry Michaelson [8], cuja divulgação no ensino de física ainda é recente [29].

Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning)

A Aprendizagem Baseada em Equipes (ABE) é um método ativo que tem como foco melhorar a aprendizagem e desenvolver habilidades de trabalho colaborativo, através de uma estrutura que envolve: o gerenciamento de equipes de aprendizagem, tarefas de preparação e aplicação de conceitos, *feedback* constante e avaliação entre os colegas. A ideia central é que os alunos sejam ativos e se sintam responsáveis pela própria aprendizagem e pela dos colegas. A ABE busca desenvolver verdadeiras equipes de aprendizagem, as quais diferem de grupos por duas características: um alto nível de comprometimento individual para o bem do grupo e confiança entre os membros [8]. Para desenvolver tais habilidades as equipes (normalmente de cinco a sete integrantes) são fixas durante toda a aplicação do método e são organizadas pelo professor de maneira que sejam as mais heterogêneas possíveis no que diz respeito ao conhecimento, experiências pessoais, interesses,

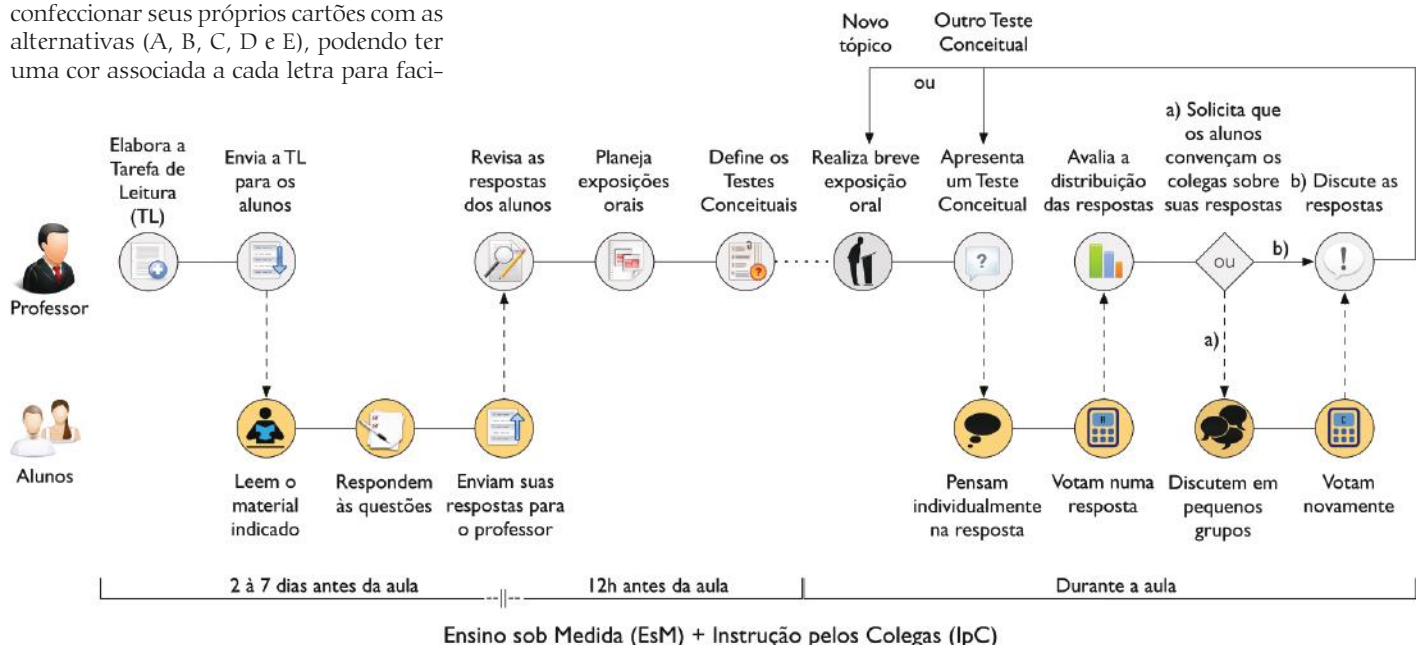


Figura 7: Linha do tempo do Ensino sob Medida e do Instrução pelos colegas para uma determinada aula [22].

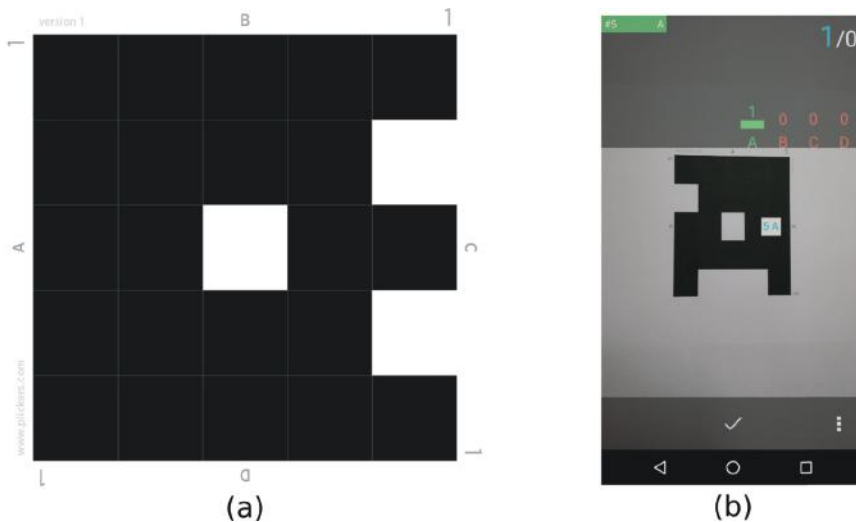


Figura 8: (a) Cartela de respostas para leitura via *software* Plickers. Cada lado corresponde a uma alternativa (A, B, C ou D)⁹. (b) Tela do aplicativo Plickers no momento da leitura do código impresso em uma folha.

entre outros fatores, favorecendo o surgimento de equipes com níveis semelhantes de interatividade.

Na implementação do TBL, uma disciplina é organizada em módulos, com duas fases principais, apresentadas na Fig. 9. Cada uma das fases, Preparação e Aplicação, envolvem tanto atividades extraclasses quanto atividades em classe, cuja lógica é a da sala de aula invertida, ou seja, os estudantes tomam contato com o conteúdo em casa e resolvem atividades ativamente em sala de aula.

Na fase de preparação (quadro 1 da Fig. 9), antes da aula, os estudantes realizam um estudo prévio, por meio de textos, vídeos e simulações, dentre outros. Esses materiais são usualmente entregues a eles com antecedência mínima de dois dias. Em sala de aula (quadro 2 da Fig. 9), continuando a fase de preparação, os estudantes respondem a um Teste de Preparação individual (TPI), cujas questões, preferen-

cialmente conceituais (*WarmUps* e *Puzzles*), estão relacionadas com a tarefa realizada em casa. Em seguida, o mesmo teste é realizado em equipe (Teste de Preparação em equipe - TPe). Nessa etapa, cada equipe recebe uma cartela (similar a bilhetes de premiação instantânea) contendo uma grade para marcar as respostas, definidas consensualmente através do diálogo entre os colegas. A resposta selecionada pela equipe é marcada na grade raspando-a. Caso a resposta escolhida esteja correta, aparecerá um símbolo indicando. Se estiver errada, os estudantes voltam a discutir para tentar encontrar a resposta certa. Em caso de objeção à formulação da questão, a equipe pode interpor um recurso (ou apelação), que é encaminhado ao professor para avaliação. Finalizando a fase de preparação, o professor faz uma breve exposição oral, enfatizando os pontos de maior dificuldade dos alunos durante a realização dos testes.

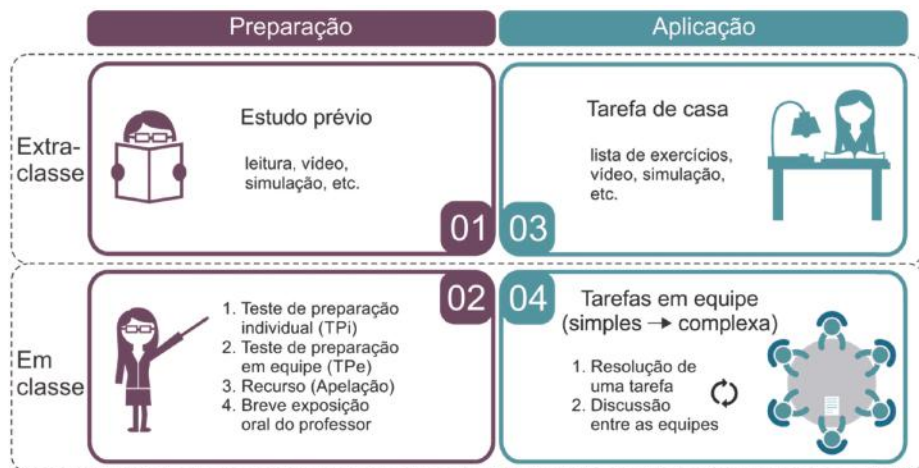


Figura 9: Principais fases de um módulo do TBL [19].

Na fase de aplicação, os alunos se envolvem em atividades, usualmente de resolução de problemas, individuais, em casa (quadro 3 da Fig. 9), e em equipe na sala de aula (quadro 4 da Fig. 9). Em sala, todas as equipes resolvem o mesmo problema, um por vez e, ao final de cada solução, expõem suas respostas para todos os estudantes (em pequenos quadros brancos ou cartolinas, por exemplo), discutindo entre eles e com o professor. Ao término da discussão, o professor entrega um novo problema e o processo recomeça. Assim, todos os alunos pensam juntos no mesmo problema, evitando o particionamento de tarefa que poderia acontecer caso fosse entregue uma lista de problemas por equipe.

Maiores informações sobre o método podem ser encontradas nas Refs. [19, 29].

Principais desafios para inverter as aulas de física

Dentre os principais desafios que o docente pode enfrentar ao almejar inverter suas aulas podemos citar: uma grande extensão de conteúdos curriculares a serem trabalhados; o número de aulas semanais disponíveis para a disciplina; ausência do hábito de estudo prévio às aulas por parte dos alunos; uma estrutura burocrática rígida na instituição de ensino que se opõe a inovações; a heterogeneidade da turma, principalmente em termos de conhecimento; e também o número elevado de alunos nas turmas.

A seguir comentamos tais desafios e apontamos possíveis formas de enfrentá-los. Obviamente, não se trata da apresentação de soluções universais e muito menos definitivas, mas sim pontos de partida para auxiliar o professor em sua reflexão sobre a implementação dos métodos de ensino discutidos ao longo deste artigo.

O conteúdo programático de física é extenso e o tempo é limitado para inverter a sala de aula

O conteúdo programático da disciplina de física é, de fato, bastante extenso, e o tempo disponível em sala de aula, seja ela invertida ou não, é exíguo. A tendência é que o professor pense que não terá tempo disponível para ensinar tudo que está programado e ainda fazer com que os estudantes sejam ativos em sala de aula. O aspecto essencial a ser considerado aqui é uma reflexão sobre o que é ensinar. Muitas vezes, o pensamento subjacente a esse respeito está alinhado com um ponto de vista transmissionista do conhecimento no qual apenas os conteúdos copiados no quadro-negro, ou exibidos em *slides* em

sala de aula, podem ser considerados como ministrados pelo professor. Ao pedir que os alunos tomem o primeiro contato com o conteúdo fora da sala de aula, através de alguma leitura ou assistindo a um vídeo, o conteúdo já começa a ser abordado. O tempo que o professor gastaria em sala de aula apresentando informações que poderiam ser lidas ou assistidas pelos alunos fora da sala de aula, passa a ser investido na oferta de atividades de ensino focadas na aprendizagem ativa por parte dos alunos. Na medida em que os estudantes vão adquirindo hábitos de estudo, conseguem aprimorar a capacidade de compreensão dos conteúdos e, conseqüentemente, mais tempo o professor terá em sala.

Os alunos não estudam fora da sala de aula

Muitos educadores argumentam, quando se deparam com a sala de aula invertida, que seus alunos não leriam o material indicado e nem mesmo assistiriam a vídeos em casa. Realmente, em diversos contextos de ensino, incentivá-los a estudar em casa não é uma tarefa fácil. Contudo, diversos trabalhos demonstram experiências bem-sucedidas neste sentido [e.g. 6, 7, 19, 22-24]. Uma alternativa usada pelos autores para amenizar essa dificuldade é fazer com que a preparação prévia para as aulas tenha papel importante na atribuição dos conceitos avaliativos na disciplina. A ideia é usar o nível de esforço explicitado pelos alunos ao tentar responder às questões associadas às tarefas de preparação prévia através do raciocínio demonstrado, e não pela correção das respostas. Assim, os estudantes não ficam inibidos em errar e se sentem incentivados a tentar responder [22] a partir do que realmente estão compreendendo. Além da apresentação de um par de questões sobre o conteúdo abordado, o professor pode também apresentar uma pergunta sobre as dificuldades que tiveram ao ler o material ou ao assistir ao vídeo e, caso não tenham tido nenhuma dificuldade, que digam o que mais lhes despertou interesse. As tarefas de preparação prévia devem ser sucintas. Recomendamos que o tempo total de preparação envolvendo o contato inicial com o conteúdo (através da leitura, por exemplo) e a resposta às questões sobre o material disponibilizado não ultrapasse 45 min. É fundamental para o estabelecimento do hábito

de estudo por parte dos discentes que as tarefas sejam bem definidas, e não tomem muito tempo para serem realizadas.

A estrutura da escola é rígida e limita qualquer tentativa de inovação

Algumas escolas são resistentes à mudança, sendo contrárias a qualquer iniciativa educacional menos conservadora. Em certos casos, inclusive, as escolas adotam materiais que parecem manifestar a intenção de ser “a prova de professor”, ou seja, que o nível de qualidade de ensino seria garantido pela adoção de livros e apostilas, reduzindo o

papel do professor à execução de atividades já planejadas. Nesses casos, o professor pode tentar inverter a sala de aula aos poucos. Não é necessário que haja uma mudança brusca, pode começar apenas com um tópico a partir dos materiais já adotados pela instituição. Por exemplo, as tarefas de preparação prévia podem ser feitas a partir da leitura de seções do livro/apostila usados pelos alunos, assim como problemas e testes conceituais podem também vir desses materiais. Na medida em que resultados positivos vão aparecendo, é razoável esperar que os próprios alunos e seus pais passem a apoiar as ações tomadas pelo professor, o que pode facilitar a aceitação das mudanças inovadoras por parte da instituição de ensino.

As turmas são heterogêneas e o número de alunos por turma é elevado

Ao inverter a sala de aula é necessário que se dê mais atenção aos alunos. Isso faz alguns professores pensarem que qualquer método ativo se tornaria inviável em turmas numerosas e heterogêneas. No entanto, a inversão da sala de aula promove a interação entre os alunos e apresenta melhores resultados justamente quando há uma diferença inicial em termos da compreensão por parte dos alunos. Alunos que apresentam certa dificuldade de entendimento frente a algum conteúdo passam a contar não só com o professor, mas também com os colegas para auxiliar sua compreensão. Por outro lado, os alunos que compreenderam mais rapidamente e passaram a auxiliar seus colegas, têm a oportunidade de consolidar aquilo que aprenderam, assim como expandir sua compreensão na medida em que precisam

externalizar argumentos e convencer seus colegas sobre suas respostas. Cabe salientar que os alunos, ao longo do trabalho, costumam alternar de papéis. Desse modo, permitimos que o aluno seja corresponsável pela sua própria aprendizagem e também pela de seus colegas. Com isso, o professor não se sobrecarrega, sendo a única “fonte de explicações” em sala de aula. Obviamente, é de responsabilidade do docente incentivar e organizar a colaboração entre os alunos. No sentido de buscar o trabalho colaborativo, podemos ainda argumentar que turmas numerosas tornam as aulas mais interessantes, pois diversificam e enriquecem as discussões.

Comentários finais

Neste artigo, apresentamos a metodologia de ensino conhecida como Sala de Aula Invertida e alguns métodos que podem ser associados a ela. Nosso objetivo foi apontar caminhos para os professores interessados em melhorar suas práticas para que conheçam algumas possibilidades e se motivem a inverter suas aulas.

É de nossa opinião que o educador que deseje modificar a sua prática não deva se fixar a um único método de ensino, seja ele qual for. Defendemos a diversidade metodológica e a autonomia do professor como ingredientes essenciais no planejamento e implementação de qualquer atividade de ensino. Mesmo aulas essencialmente expositivas podem se mostrar relevantes dentro da organização de uma unidade de ensino e seria um equívoco pensar que deveriam ser abolidas apenas por serem “tradicionais”.

Por meio de reflexões sobre o processo de ensino-aprendizado e novas formas de concretizá-lo em seu contexto educacional único, incentivamos que o professor assumisse uma postura crítica. Os métodos ativos de ensino não podem ser vistos como receitas a serem seguidas ou meras técnicas que o professor dispõe. Se forem encarados de maneira rígida, o docente pode ter dificuldades para lidar com as dificuldades de natureza social, cultural e econômica, que certamente aparecerão em sua trajetória didática. Conforme já salientamos, a autonomia e o discernimento do professor são imprescindíveis.

Mesmo que o foco pelo qual tratamos a Sala de Aula Invertida esteja principalmente na melhoria da compreensão conceitual e na habilidade de resolução de problemas, evidentemente isso não diminui a importância de discussões sobre aspectos epistemológicos, históricos e sociais. Por exemplo, a discussão sobre a natureza do conhecimento científico e a relação entre

Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) podem efetivamente chegar à sala de aula por meio dos métodos de ensino aqui apresentados ou de suas adaptações, mantendo os pontos centrais motivadores da

inversão da sala de aula.

Esperamos que as discussões aqui levantadas possibilitem o enriquecimento da prática do professor de física. No entanto, como bem destacamos no decorrer do

texto, para usufruir das vantagens da Sala de Aula Invertida existem desafios a serem superados, e cabe ao professor ser o agente de mudança.

Notas

¹Ferramenta gratuita para captura de imagem da tela do computador e som. Disponível em <http://www.jingproject.com>.

²Um dos programas (pagos) mais populares para captura de tela e som e edição de vídeos. Disponível em <https://www.techsmith.com/camtasia.html>.

³Software gratuito e *open source* para capturar a tela do computador. O CamStudio está disponível para *download* apenas no Windows. Disponível em <http://camstudio.org/>.

⁴Programa gratuito e *open source* destinado a usuários GNU/Linux que desejam capturar a tela do computador. Disponível em <http://recordmydesktop.sourceforge.net/about.php> ou na central de programas do Ubuntu.

⁵Software gratuito para escrever (ou desenhar) na tela do computador. Disponível em <http://www.smoothdraw.com/sd>.

⁶O PhET simulações interativas é um projeto da Universidade do Colorado (EUA), fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel de Física Carl Wieman, que conta com um grande acervo de simulações de diversos conteúdos de física, química, biologia, ciências da terra e matemática. Também apresenta uma série de propostas de atividades a serem usadas com as simulações. Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/.

⁷O CREF, Centro de Referência para o Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), possui uma seção que se destina a resolver dúvidas conceituais sobre física, na maioria das vezes ligadas ao cotidiano. As respostas são dadas normalmente por especialistas da área do próprio Instituto de Física da UFRGS. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/cref/>.

⁸Ferramenta eletrônica gratuita utilizada para criar questionários, disponibilizar aos alunos e receber as respostas organizadas em tabelas. Disponível em <http://docs.google.com>.

⁹Os desenhos correspondentes as letras do alfabeto (A, B, C e D), cujo aplicativo do celular conseguirá ler, pode ser adquirido gratuitamente pelo site do próprio aplicativo. Disponível em https://plickers.com/PlickersCards_2up.pdf.

Referências

- [1] M. Prensky, *On the Horizon* **9**, 5, (2001).
- [2] C.C. Bonwell and J.A. Eison, *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom* (School of Education and Human Development, Washington, 1991).
- [3] J. Bergmann and A. Sams, *Flip your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day* (International Society for Technology in Education, Washington, 2012).
- [4] A. Roehl, S.L. Reddy and G.J. Shannon, *Journal of Family and Consumer Sciences* **105**, 2 (2013).
- [5] J. Schell, *7 Mitos sobre a Sala de Aula Invertida, Desmitificados*, traduzido por Maykon Müller, disponível em <https://blog.peerinstruction.net/7-mitos-sobre-a-sala-de-aula-invertida-desmitificados/>, acesso em 23/7/2016.
- [6] E. Mazur, *Peer Instruction: A Revolução da Aprendizagem Ativa* (Penso Editora LTDA, Porto Alegre, 2015).
- [7] G.M. Novak, E.T. Patterson, A.D. Gavrin and W. Christian. *Just-in-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology* (Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999).
- [8] L.K. Michaelsen, A.B. Knight and L.D. Fink, *Team-Based Learning: A Transformative Use of Small Groups in College Teaching* (Stylus Publishing, Sterling, 2004).
- [9] F. Hernández, *Transgressão e Mudança na Educação: Os Projetos de Trabalho* (Artmed, Porto Alegre, 1998).
- [10] H.S. Barrows and M.R. Tamblyn, *Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education* (Springer, New York, 1980).
- [11] B. Urban, *10 Reasons Why You Should Get Into a Flipped Class*, disponível em <https://blog.peerinstruction.net/2016/03/28/10-reasons-why-you-should-get-into-a-flipped-class/>, acesso em 23/7/2016.
- [12] D.P. Ausubel, J.D. Novak and H. Henesian, *Psicologia Educacional* (Interamericana, Rio de Janeiro, 1980).
- [13] K.A. Marrs and G. Novak, *Cell Biology Education* **3**, 49 (2004).
- [14] J.E. Dowd, I.S. Araujo and E. Mazur, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **11**, 1 (2015).
- [15] L.S. Vygotsky, *A Formação Social da Mente* (Martins Fontes, São Paulo, 1988).
- [16] R. Hake, *American Journal of Physics* **66**, 1 (1998).
- [17] C.H. Crouch and E. Mazur, *American Journal of Physics* **69**, 9 (2001).
- [18] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 1 (2015).
- [19] T.E. de Oliveira, *Aprendizagem de Física, Trabalho Colaborativo e Crenças de Autoeficácia: Um Estudo de Caso com o Método Team-Based Learning em uma Disciplina Introdutória de Eletromagnetismo*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- [20] N. Lasry, E. Mazur and J. Watkins, *American Journal of Physics* **76**, 11, (2008).
- [21] J. Watkins and E. Mazur, *Journal of College Science Teaching* **24**, 5 (2013).
- [22] I.S. Araujo and E. Mazur, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **30**, 2 (2013).
- [23] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Uma Proposta de Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o Ensino Médio: Tarefas de Leitura*, disponível em http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n27_Oliveira/tarefas_de_leitura.pdf.
- [24] B.P. Self, E. Patterson, G. Novak and E. Hamilton, in: *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, p. 10.851.1–10.851.12 (2005).
- [25] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Uma proposta de ensino de tópicos de eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o Ensino Médio: Testes Conceituais*, disponível em http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n27_Oliveira/testes_conceituais.pdf.
- [26] F.L. Silveira, M.A. Moreira e R. Axt, *Enseñanza de las Ciencias* **10**, 2 (1992).
- [27] F.L. Silveira, M.A. Moreira e R. Axt, *Ciência e Cultura* **41**, 11 (1989).
- [28] L.A. Heidemann, A.M.M. de Oliveira e E.A. Veit, *Física na Escola* **11**, 2 (2010).
- [29] T.E. de Oliveira, I.S. Araujo e E.A. Veit, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **33**, 3 (2016).

A defesa do copernicanismo teve papel central nas condenações de Galileu?



.....
Felipe Damasio

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

.....
Luiz O.Q. Peduzzi

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

Introdução

Galileu desperta interesse para além das fronteiras da ciência. Assim, por exemplo, na lista dos 100 livros essenciais da literatura mundial, publicada pela Revista Bravo! [1], entre as cinquenta primeiras obras está a de Bertolt Brecht intitulada *A vida de Galileu Galilei* [2], e nenhum outro cientista aparece na lista. Segundo Brecht, mesmo perseguido pela Santa Inquisição, coube a Galileu comprovar aos homens o verdadeiro

Ao discutir outro ponto de vista sobre o julgamento de Galileu, este artigo pretende contribuir para mostrar que a história da ciência é muito mais variada, multifacetária e sutil do que o melhor historiador ou metodólogo poderia imaginar

desenho do universo [3]. A peça, além de não deixar dúvida sobre o papel do copernicanismo na punição de Galileu, também mostra que um dos motivos que levou ao seu julgamento foi a fúria do papa Urbano VIII.

A ampla disseminação de que a pena de Galileu está vinculada a sua defesa da doutrina copernicana também é feita por livros de divulgação. Gleiser [4] afirma que a publicação do *Dialogo Sopra i Due Massimi Sistemi del Mondo* (*Diálogos Sobre os Dois Principais Sistemas de Mundo*) deixou o papa furioso e que ele foi condenado “pelo Sagrado Tribunal da Inquisição e forçado a declarar publicamente, sob pena de tortura, que as ideias de Copérnico eram errôneas e heréticas” [4, p. 78]. Mariconda e Vasconcelos [5] colocam que a publicação do *Dialogo* levou os adversários de Galileu a oferecerem denúncia, seguido de seu julgamento pelo Santo Ofício em Roma. As acusações seriam ligadas a defesa do copernicanismo e Galileu foi obrigado a publicamente recitar a abjuração, “ficando proibido, a partir de então, o sistema copernicano e a obra de Copérnico *quovis modo*” [5, p. 127].

Tal entendimento também é propa-

gado por livros-textos universitários de história da ciência. Por exemplo, segundo Ponczek [6], a Igreja considerou o *Dialogo* tendenciosamente copernicano e devido a isso ele foi processado e condenado pela Inquisição, “sendo recentemente absolvido pela Igreja, que reconheceu seu erro” [6, p. 87]. Pires [7] afirma que o *Dialogo* tinha

como principal objetivo mostrar a validade da teoria copernicana. O papa Urbano se sentiu enganado pela publicação da obra e enviou o caso a Inquisição. Após o julgamento, “na sentença, foi declarado ‘veemen-

te suspeito de heresia’, obrigado a abjurar a doutrina copernicana” [7, p. 129].

No entanto, existem estudos que discordam de tal perspectiva, como os que fundamentam a argumentação deste artigo, como o de Pietro Redondi [8]. Segundo este historiador da ciência italiano, a condenação oficial de Galileu foi o desfecho de um drama, não o drama. Discordâncias em interpretações de episódios da história da ciência são normais e salutares, em um campo de pesquisa ativo. A versão de Redondi foi publicada inicialmente durante a década de 1980; no entanto, parece ser desconsiderada ou desconhecida da maioria dos textos que discutem os julgamentos de Galileu. Estes normalmente se limitam a apresentar a história oficial.

Ao discutir outro ponto de vista sobre o julgamento de Galileu, este artigo pretende contribuir para mostrar que a história da ciência é muito mais variada, multifacetária e sutil do que o melhor historiador ou metodólogo poderia imaginar. Nessa linha, e na perspectiva de que episódios históricos podem ser úteis para a formação de estudantes mais críticos, examina-se como os julgamentos de Galileu podem subsidiar discussões por meio de

Existe uma visão comum na qual os julgamentos de Galileu durante o Século XVII são vistos como um embate entre a razão e a religião. Este artigo procurará exercitar, para fins críticos, outros pontos de vista. Dentre eles, que no processo de 1616 a Igreja teve uma atitude razoável e que a lógica estava do seu lado e contra Galileu. Também, que a versão oficial da condenação de Galileu por defender o copernicanismo em 1633 foi uma farsa arquitetada pelo papa Urbano VI para defender a si mesmo e a Galileu de acusações mais graves naquele século. A presente discussão, fundamentada no trabalho do historiador da ciência italiano Pietro Redondi, tem a intenção de contribuir para uma diversidade de pontos de vista acerca desses episódios, particularmente sobre como eles podem colaborar para a formação de um cidadão do Século XXI sob uma proposta de ensino potencialmente significativa.

Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

A hagiografia de Galileu

Por história pode-se entender o conjunto de acontecimentos, situações e fatos do passado. Por historiografia considera-se a produção dos historiadores, o discurso sobre a história, que é essencialmente apresentado através do texto escrito, que tem como objetivo expor uma interpretação sobre os fatos históricos. Lilian Martins [9] alerta para um vício historiográfico bastante recorrente, como a interpretação *whig* da História, também conhecido como whiggismo. Este tipo de anacronismo deve-se a uma interpretação de eventos históricos

com o objetivo de enaltecer a autoridade de pensadores ou instituições do passado com a finalidade de discorrer a história de maneira linear. Allchin [10] chama de hagiografia um tipo de whiggismo que procura romantizar certos pensadores sobrevalorizando suas contribuições. Este termo é normalmente usado para descrever biografias de santos e mártires, que são feitas de modo parcial a favor do biografado. O julgamento de Galileu foi inflado a proporções enormes, tendo um grande papel na hagiografia do cientista.

O contexto dos julgamentos de Galileu

A Igreja Católica sofreu diretamente com as mudanças ocorridas durante o Sé-

culo XVI, devido a movimentos religiosos que deixaram de reconhecer a autoridade papal e dogmas católicos. Tais movimentos, dentre eles o luteranismo, o calvinismo e o anglicanismo são conhecidos com o nome genérico de Reforma. Aos movimentos que neste período romperam com o Vaticano deu-se o nome de protestantismo [11].

Com o seu enfraquecimento, a Igreja Católica articulou um movimento de reação para impedir que a Reforma se expan-

Um ponto-chave que diferencia os católicos dos protestantes é a crença católica na transubstanciação – alçada a dogma no Concílio de Trento –, enquanto para os protestantes, trata-se apenas de um simbolismo que representa o corpo e sangue de Cristo

disse. Esta reação ficou conhecida como Contra-Reforma. Para a restauração do seu poder, uma das instituições que ganhou força foi o antigo tribunal da Santa Inquisição, onde eram julgados os suspeitos de heresia. Concomitantemente, foi instaurado o *Index Librorum Proibitorum*, que constituía em uma lista de livros proibidos para um católico (ibid.).

Para formular um programa de novas formas de combater o recente cenário, foi convocado o Concílio de Trento (Fig. 1) – uma reunião de cardeais, que teve início no ano 1545 e se prolongou até 1563 – que pregava a fidelidade da fonte bíblica [12]. Na seção XIII do Concílio, o capítulo 4 é dedicado a Transubstanciação da Eucaristia.

Uma vez, porém, que Cristo Nosso Redentor disse que aquilo que oferecia sob a espécie de pão era verdadeiramente o seu corpo (Mt 26, 26; Mc 14, 22 ss; Lc 22, 19 ss; I Cor 11, 24 ss.), sempre

houve na Igreja de Deus esta mesma persuasão, que agora este santo Concílio passa a declarar: Pela consagração do pão e do vinho se efetua a conversão de toda a substância do pão na substância do corpo de Cristo Nosso Senhor, e de toda a substância do vinho na substância do seu sangue. Esta conversão foi com muito acerto e propriedade chamada pela Igreja Católica de transubstanciação [13].

Ainda na seção XIII estão publicados os cânones sobre a Eucaristia, entre eles dois que iriam atingir diretamente a Galileu no século seguinte:

Cân. 1. Se alguém negar que no Santíssimo Sacramento da Eucaristia está contido verdadeira, real e substancialmente o corpo e sangue juntamente com a alma e divindade de Nosso Senhor Jesus Cristo, e por conseguinte o Cristo todo, e disser que somente está nele como sinal, figura ou virtude – seja excomungado.

Cân. 2. Se alguém disser que no sacrosanto sacramento da Eucaristia fica a substância do pão e do vinho juntamente com o corpo e o sangue de Nosso Senhor Jesus Cristo; e negar aquela admirável e singular conversão de toda a substância de pão no corpo, e de toda a substância do vinho no sangue, ficando apenas as espécies de pão e de vinho, que a Igreja com suma propriedade (apertissime) chama de transubstanciação – seja excomungado [13].

White [14] afirma que um dos pontos-chave que diferencia os católicos dos protestantes, ainda hoje, é justamente a crença católica na transubstanciação – alçada a dogma no Concílio de Trento. Para os protestantes, trata-se apenas de um simbolismo que representa o corpo e sangue de Cristo. Portanto, “é possível que alguém seja católico e copernicano, mas não é possível que seja católico e desrespeite o postulado da Eucaristia” [14, p. 225].

A palavra transubstanciação, que surgiu no Século XII, estava destinada a ser uma das mais pronunciadas e escritas na história europeia. Quando São Tomás de Aquino liderou a teorização da transubstanciação, estava pautado pela doutrina aristotélica da matéria, que foi usada, em grande parte, por permitir enfrentar os problemas da eucaristia. Nela, as coisas têm uma natureza dual, a substância e o acidente. Por substância entende-se algo como a alma da coisa; acidente é um eufemismo para corpo. A doutrina católica prega que durante a comunhão existe uma troca da substância do pão e



Figura 1: Ilustração do o Concílio de Trento.

do vinho pela do corpo e sangue de Cristo, mas o acidente não é afetado (ibid.).

A doutrina aristotélica permitia reduzir o mistério da eucaristia a apenas um milagre: a separação de um corpo de sua extensão [8]. Para Aquino, a eucarística é formada de fenômenos sensíveis separados da substância. “Com a teoria tomista dos ‘acidentes sem sujeito’, a doutrina da transubstanciação fora colocada sob um abrigo racional” [8, p. 238].

A Igreja Católica se apropriou oficialmente da ideia dos “acidentes sem sujeito”, que conjugava uma metafísica da matéria: a substância era o ser em si, sem necessidade de sujeito para existir. Os acidentes ligados virtualmente à substância tinham esta realidade alterada quando havia a consagração. A adoção oficial da teoria da matéria aristotélica-tomista banuiu pela escolástica o atomismo democritiano (ibid.).

Em *Summulae in Libros Physicorum Aristotelis*, Guilherme de Occam estipulava que a substância só era perceptível por seus atributos ligados a extensão, crescendo e diminuindo até as dimensões de um ponto matemático. Occam, portanto, no Século XIV, tinha um ponto de vista diferente da filosofia aristotélica-tomista. Galileu, ao conhecer Occam, ainda quando estudante, deve ter ficado impressionado com essa ideia. Mesmo que oficialmente Occam declarasse que acreditava na transubstanciação – mais como uma questão de dialética – em sua obra *Tractatus de Sacramento Altaris* defendia que os acidentes eucarísticos (cor, sabor, peso e todos os outros fenômenos sensíveis) eram *quanta* dotados de comprimento, largura e profundidade. O atomismo nominalista e a associação entre quantidade e substância foram condenados pela Igreja em 1347, mesmo que a doutrina tomista oficial ainda não tivesse sido consagrada como dogma (ibid.).

O Concílio de Constança, em 1415, entendeu com rigor contra as ideias occamistas. No dia 6 de julho apropriava-se oficialmente da doutrina dos acidentes sem sujeitos. “O Concílio de Constança havia assim, aos olhos de muitos contemporâneos, colocado Aristóteles sobre os altares católicos” [8, p. 246]. Em Trento,

os padres conciliares formularam o dogma da permanência das espécies durante a eucaristia, e partir de então a teoria dos acidentes reais sem sujeito passou a ser uma conclusão da fé.

Logo, qualquer um que defendesse e publicasse ideias contrárias aos argumentos de Aristóteles no sentido da natureza da matéria estaria infringindo as ideias de

Santo Agostinho, transformadas em dogma durante o Concílio de Trento. Galileu, em seu livro *Il Saggiatore (O Ensaaiador)*, defende uma teoria atômica antiaristotélica. A ordem dos jesuítas, fundada por Inácio de Loyola em 1534, que fortaleceu o catolicismo e defendeu os dogmas do Concílio de Trento, atacava todos que julgasse que se opunham a suas convicções contrarreformistas, entre os quais, Galileu Galilei.

Os jesuítas eram também educadores e pesquisadores. Fundaram uma universidade em Roma (Colégio Romano) que se dedicava ao ensino de gramática, ciências humanas e doutrina cristã. Também ensinava matemática e astronomia – o calendário gregoriano foi idealizado por um professor da instituição, Christopher Clavius [15]. Entre os grandes rivais de Galileu no Século XVI, muitos ensinavam no Colégio Romano e o viam como inimigo dos dogmas tridentinos – em especial, o da transubstanciação.

Qualquer um que negasse a doutrina aristotélica da matéria estava em conflito direto com os dogmas estabelecidos durante o Concílio de Trento, como o fez Galileu em *Il Saggiatore*. É possível, então, entender os motivos dos jesuítas não apreciarem, e denunciarem, as suas obras ao Santo Ofício. A ordem era particularmente dedicada a atacar qualquer oposição ao conceito da transubstanciação. Em especial, Orazio Grassi vai ser decisivo para se entender os episódios de 1633, que teve como denúncia central, sustenta-se aqui, com Redondi [8], não a defesa do copernicanismo, pela qual Galileu já fora advertido em 1616, mas a heresia contra o dogma da transubstanciação.

Antes, no entanto, a discussão do episódio de 1616 parece relevante para se entender que a Igreja Católica pode não ter tido um comportamento tão autoritário e arbitrário como se descreve nos eventos

Qualquer um que negasse a doutrina aristotélica da matéria estava em conflito direto com os dogmas estabelecidos durante o Concílio de Trento, como o fez Galileu em Il Saggiatore

A doutrina aristotélica permitia reduzir o mistério da eucaristia a apenas um milagre: a separação de um corpo de sua extensão. Para Aquino, a eucarística é formada de fenômenos sensíveis separados da substância

do Século XVII. E mesmo, como alguns autores defendem, que a razão pode ser colocada no lado do Vaticano, no caso de 1616.

O julgamento de Galileu de 1616

A chamada ‘Revolução Copernicana’ é um fenômeno bastante complexo. Frente a seu caráter multifacetário, a discussão de vários aspectos ligados a esse tema pode ajudar a entender a sua complexidade. A primeira questão a se abordar, de cunho epistemológico, é a existência de dois diferentes programas dentro da astronomia que remontam desde a Grécia clássica: a astronomia matemática e a astronomia física.

O programa astronômico de Platão deu origem a astronomia matemática, onde a questão da falsidade ou veracidade das teorias não era relevante [16]. O essencial era a utilidade dos predicados com suas explicações e previsões. De acordo com Duhem [17], o astrônomo dentro deste programa devia se resguardar da hipótese que seus sistemas representam movimentos reais dos astros. O sistema ptolomaico pode ser colocado dentro do programa da astronomia matemática. Por sua vez, as raízes da astronomia física alcançam a cosmologia aristotélica. As entidades postuladas por teorias dentro desta linha não são meros instrumentos de cálculo; elas procuram descrever a realidade física. Tradicionalmente, ficaram conhecidos como instrumentalistas e realistas os alinhados, respectivamente, com a astronomia matemática e a astronomia física [16].

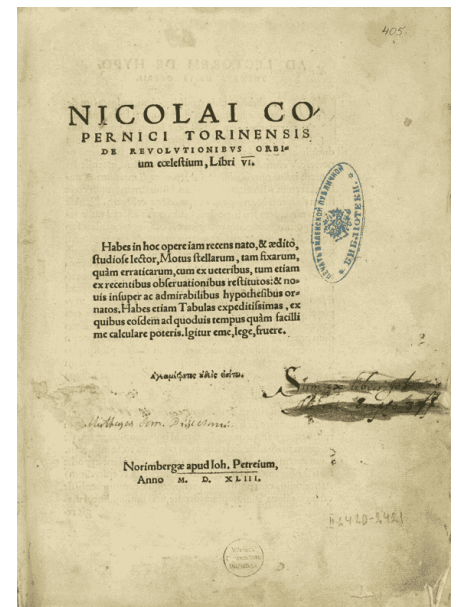


Figura 2: Frontispício da edição de 1543 de *Revoluções*.

Existem controvérsias sobre em que segmento da astronomia se situa o heliocentrismo copernicano. O prefácio da obra (Fig. 2), escrito pelo pastor luterano Andreas Osiander, sem a autorização de Copérnico, ressalta o seu caráter hipotético [18]. Mas houve reações contundentes contra essa interpretação. Kepler, por exemplo, ficou particularmente indignado com o prefácio, pois, “ao contrário da grande maioria dos astrônomos do Século XVI, ele era um realista e acreditava que Copérnico também era” [18, p. 182]. Como será explicado a seguir, a questão sobre se as previsões astronômicas pretendiam ou não uma descrição real foi fundamental para o julgamento de 1616.

Feyerabend [19] apresenta o embate entre Galileu e a Igreja como um conflito entre tradições. Galileu era um especialista em uma área bastante particular, que compreendia matemática e astronomia. A Igreja considerava o conhecimento astronômico relevante a ponto de ser praticado por vários de seus membros. Mas os modelos oriundos da astronomia não podiam ser relacionados com a verdade “sem mais nem menos” [19, p. 298]. Este ponto de vista é defendido na famosa carta do cardeal Bellarmino (responsável pela condenação de Bruno a fogueira e pelo julgamento de Galileu em 1616) em resposta ao monge carmelita de Nápoles sobre a pergunta concernente a realidade do sistema copernicano:

Essa maneira de falar é suficiente para um matemático. Mas querer afirmar que o Sol, verdadeiramente, está no centro do universo e gira em torno de seu próprio eixo sem ir de leste para o oeste é uma atitude muito perigosa e calculada não só para provocar todos os filósofos escolásticos como também para ferir nossa fé sagrada ao contradizer as Escrituras [20].

Em termos modernos, o cardeal afirmava que o fato de um modelo ser útil e funcionar não implica necessariamente que a realidade é estruturada de base nele. Segundo Feyerabend [19, p. 298] “essa ideia sensata é um ingrediente elementar da prática científica”, pois aproximações são comuns em ciência, usadas porque facilitam os cálculos dentro de um domínio restrito. Porém, a doutrina copernicana, devido a sua coerência e sucesso parcial, foi considerada como um correspondente da realidade por defensores do modelo, como Rheticus e Mästlin.

Foi somente no processo de 1616 que

A Igreja Católica estava alinhada a um argumento científico em sua atitude, a tese instrumentalista

a doutrina copernicana foi examinada pelos estudiosos da Igreja, e criticada. Como consequência, Galileu recebeu uma ordem, mas não foi punido. Segundo Feyerabend [21], a Igreja Católica agiu de maneira correta no julgamento de Galileu, pois “a ciência não tem a última palavra em assuntos humanos, incluído aí o conhecimento” [21, p. 184]. Galileu era um defensor da tese realista do sistema copernicano, que gerava como consequência uma nova atitude com relação à Sagrada Escritura. O que a Igreja fez foi lhe dizer que se limitasse a lidar com o copernicanismo no âmbito de uma hipótese matemática.

O episódio de 1616 foi precedido por denúncias e boatos, que envolveram inveja, adulações, disputa por melhores posições dentro da Igreja, etc. A Inquisição examinou as denúncias contra Galileu e ordenou que especialistas emitissem uma opinião sobre a doutrina copernicana. O parecer dizia respeito a dois pontos que hoje se reconhece como seu conteúdo científico e suas implicações sociais.

No primeiro ponto, os especialistas consideraram a teoria como “insensata e absurda em sua filosofia”, o que para Feyerabend implica, em termos modernos, classificá-la como não científica. Tal parecer não fez alusão a fé ou a doutrina da Igreja, fundamentando-se apenas em função da situação científica da época. Muitos estudiosos daquele período, que hoje são admirados, compartilhavam da mesma opinião em relação a falta de sustentação do sistema copernicano, sendo contrários a adoção deste sistema. Dentre eles estava Tycho Brahe.

No *Dialogo*, Galileu deixa claro que a crença na doutrina copernicana não tinha vantagens em relação às suas rivais. Ele chega a chamar a adesão ao copernicanismo de violência aos sentidos. Isto fica bem explicitado na terceira jornada, quando o personagem Salviati (que faz papel de copernicano e defende as ideias de Galileu) faz considerações sobre a opinião de Copérnico:

[...] eu fico estupefato de que se tenha até aqui encontrado quem a tenha abraçado e seguido, nem posso admirar o suficientemente a emissão do engenho daqueles que a receberam e a consideraram verdadeira, e com vivacidade de seu intelecto fizeram tal força aos próprios sentidos, que tenham podido

antepor o que lhes ditava o discurso ao que lhes mostravam as experiências sensíveis abertamente contrárias. Que as razões contra a revolução diurna da Terra, já examinadas por vós, tenha grandíssima aparência, já o vimos, e terem sido consideradas como concludentíssimas pelos ptolomaicos, aristotélicos e todos os seus seguidores, é um argumento muito forte de sua eficácia; mas aquelas experiências, que são claramente contrárias ao movimento anual, são uma aversão tanto mais aparente, que (volto a dizer) não posso encontrar limite para minha admiração de como tenha podido, em Aristarco e Copérnico, a razão fazer tanta violência aos sentidos, que contra estes ela se tenha tornado soberana de sua credulidade [22, p. 410].

Feyerabend defende que, se os cientistas e filósofos modernos estivessem na situação do julgamento de 1616, eles teriam dado o mesmo veredito em relação ao absurdo e da insensatez em filosofia da doutrina. “Quase todos os filósofos da ciência que escrevem hoje teriam concordado com Bellarmino que o caso de Copérnico era realmente muito frágil” [19, p. 307]. A medição da paralaxe estelar, que poderia ser decisiva para a adoção do sistema copernicano, foi feita apenas em 1838. Logo, o ponto de vista assumido por Bellarmino, no Século XVII, ao censurar a defesa da doutrina copernicana como correspondente a uma realidade física, é totalmente aceitável.

Os cientistas modernos, então, não podem louvar Galileu, defender Copérnico e ainda aderir a seus próprios padrões estritos. Eles têm que concordar com a avaliação dos especialistas ouvidos pela Igreja Católica ou então admitir que possa ser apresentada como fundamental uma doutrina obscura, incoerente e não fundamentada, mas poderiam também concordar com Kepler. “Apenas poucos admiradores de Galileu têm uma ideia vaga dessa situação bastante complexa” [21, p. 186]. A Igreja Católica, portanto, estava alinhada a um argumento científico em sua atitude, a tese instrumentalista.

Porém, é necessário resaltar que foi razoável aceitar a doutrina copernicana nos Séculos XV e XVI. No entanto, não havia apenas uma razão para isto, tampouco um único método, “mas uma variedade de razões ativadas por uma variedade de atitudes criadas pela ‘Revolução

Copernicana” [23, p. 81]. Essas razões e atitudes convergiam, mas tal convergência foi acidental, o que torna inútil tentar explicar todo o processo por meio de regras metodológicas simples. Por exemplo, Mäestlin e Kepler ficaram impressionados com a harmonia do sistema copernicano; já Guericke, com as propriedades físicas do novo sistema e Bruno com o fato de ele poder facilmente se tornar parte de uma infinidade de sistemas.

Em relação ao segundo ponto analisado pelos especialistas da Igreja, o das implicações sociais (éticas), eles pronunciaram que a doutrina copernicana era “formalmente herética”. O que significa que ela contradizia as Sagradas Escrituras da forma como eram então interpretadas oficialmente pela Igreja. E ainda, que tal contradição era feita de maneira consciente e não de maneira inadvertida. Este ponto de vista é baseado em uma série de pressupostos, como o de que as Sagradas Escrituras eram tão relevantes para as pessoas que, por consequência, também deveria pautar a pesquisa, que hoje reconhecemos como científica. A época, este pressuposto era compartilhado por cientistas muito admirados atualmente, como Copérnico, Kepler e Newton. Este último chegou a afirmar, mesmo que tivesse muitas restrições em relação à religião católica, que a verdade flui de duas fontes, a Bíblia e a natureza.

Os teólogos da Igreja Católica reivindicam a exclusividade de exploração, interpretação e aplicação das Sagradas Escrituras; não era diferente no Século XVII. Assim, leigos (como Galileu) não tinham o conhecimento nem a autoridade para interpretar as Escrituras e eram proibidos de fazê-lo – rigidez oriunda do Concílio de Trento. Heresia, segundo Feyerabend [21], em um sentido amplo, significa desvio das atitudes e ideias que garantem uma vida plena e santificada. Tal desvio podia ser encorajado pela pesquisa científica. Logo, era necessário, do ponto de vista da Igreja, examinar as implicações heréticas do desenvolvimento científico.

De acordo com Feyerabend [21, p. 189], “a Igreja estava no caminho certo” na avaliação de que Copérnico era ‘formalmente herético’. Segundo esta perspectiva, a Igreja Católica Romana prezava, a época de Galileu, por uma qualidade de vida independente da ciência. Ademais, não havia nenhuma prova convincente da doutrina copernicana em 1616 que justificasse uma reinterpretção das Sagradas Escrituras. Ela agiu com o desejo de proteger as pessoas de arranjos de especialistas, de serem corrompidas por ideologias estreitas que tinham funcionamento restrito

e eram incapazes de sustentar uma vida em harmonia.

O aconselhamento de que Galileu ensinasse a doutrina copernicana como uma hipótese e não como uma verdade foi pautada neste contexto. Muitos astrônomos dos Séculos XVI e XVII não acreditavam que epiciclos e deferentes correspondiam a verdade física. A maioria deles considerava estes artifícios como caminhos teóricos que podiam auxiliar nos cálculos sem corresponder à realidade.

O ponto de vista copernicano era comumente interpretado “como um modelo interessante, insólito e bastante eficiente” [21, 2007, p. 191]. O que a Igreja exigiu, tanto por razões científicas como éticas, foi que Galileu aceitasse esta interpretação. Nas palavras de Duhem, “a lógica estava do lado de Berlarmino e não do lado de Galileu” [17, p. 78].

O julgamento de 1633: uma farsa?

Após a condenação de 1616, Galileu continuou atuando como filósofo natural. Em 1623 publicou *Il Saggiatore* (Fig. 3). Nesta obra, mesmo com grande cautela crítica, encontra-se uma hipótese corpuscular para a luz e também para a natureza do calor e a estrutura dos sólidos e fluidos. Em nenhum momento na obra ele aborda a questão da eucaristia, e quase quatro séculos depois pode parecer que esta questão doutrinal era menos importante que outras, como o copernicanismo. Porém, em pleno Século XVII, temas ligados com a experiência diária do milagre eucarístico e ao dogma associado a ele eram de extrema relevância para os católicos [8, 1991]. A obra tradicionalmente associada à condenação de Galileu em 1633, por livros-textos de



Figura 3: Primeira edição do *Il Saggiatore*.

qualquer nível de estudo, materiais paradiáticos, obras de ficção literária, livros de divulgação científica, etc., é o *Dialogo*. Porém, Redondi lançou novas luzes sobre o tema, ao deslocar para o *Il Saggiatore* as causas que levaram ao julgamento de Galileu.

Um comportamento de Galileu na prisão domiciliar, no último decênio de sua vida, parece reforçar a convicção de que a condenação de 1633 não tinha sido motivada pela defesa do copernicanismo. Ele ditou uma carta em 23 de junho de 1640 a seu aluno e biógrafo Viviani, endereçada ao professor Liceti – um conhecido e respeitado aristotélico, que publicou um livro em que atribuía a Galileu menções corpusculares a luz. Nesta carta, Galileu adota um tom de desmentido ao procurar se desligar de qualquer interpretação materialista da luz e do calor que outrora pudesse lhe ser atribuída. Também em carta a Liceti, datada de 25 de agosto do mesmo ano, Galileu reafirma o desmentido ao confirmar novamente que não

Os teólogos da Igreja Católica reivindicam a exclusividade de exploração, interpretação e aplicação das Sagradas Escrituras. Assim, leigos como Galileu não tinham o conhecimento nem a autoridade para interpretar as Escrituras e eram proibidos de fazê-lo

reconhecia ter feito hipóteses filosóficas materialistas sobre a luz. O próprio Liceti, em carta a Galileu de 7 de setembro de 1640, mostra-se surpreso com a declaração de Galileu de que não contradizia a doutrina aristotélica. Liceti ainda aponta na carta que, apesar de tudo, as obras de Galileu indicavam a direção oposta (ibid.).

Para Redondi, com esta atitude no ocaso de sua vida, Galileu estava agindo com prudência dissimulada, e tinha razões para isto. Porém, tal prudência não era usada em relação a outras convicções. Nessas correspondências com Liceti, ele se permite defender o sistema copernicano, mesmo que a sua

No mesmo ano da impressão de *Il Saggiatore*, o papa Gregório XV morre, sendo sucedido por Urbano VIII. Amigo de Galileu e intelectual refinado, ele considerou a obra divertida e ficou admirado

condenação oficial se devesse àquela defesa. Com o mínimo de dissimulação, ele se declara fiel a estas suas antigas convicções. Ainda hoje, a negação de Galileu de sua defesa da física corpuscular é um problema que gera debate entre seus biógrafos e entre os historiadores da ciência. O motivo desta virada surpreendente é uma das perguntas mais relevantes sobre o atomismo do Século XVII. Para Redondi, a resposta pode estar em torno do *Il Saggiatore*, nas reações que aquele livro suscitou.

Il Saggiatore foi publicado em 1623. O argumento principal que motivou o livro era a polêmica entre Galileu e a natureza e movimento dos cometas. Orazio Grassi, um padre jesuíta que usava o pseudônimo de Lotharius Sarsius, publicou uma explicação para o fenômeno de acordo com o modelo de Thyco Brahe. O livro de Galileu ridicularizou Grassi, agradeceu o papa e valeu a Galileu o título de ‘filho devoto’ da Igreja. Ele foi recebido com um sucesso acachapante em Roma. Porém, no Colégio Romano ele foi considerado com discórdia e entendido como

***Il Saggiatore* não trata de teses originais nem em observações. Tratava-se de argumentos polêmicos**

uma provocação. Com a humilhação de um dos seus mais iminentes membros, Orazio Grassi, a ordem dos jesuítas passou a ver Galileu como um de seus inúmeros adversários [14]. O tom de sarcasmo de Galileu em relação a Lotário Sarsi (pseudônimo de Grassi), procurando desmoralizar o jesuíta, pode ser percebido em vários trechos de *Il Saggiatore*, como por exemplo:

Apesar de considerar que este nome, nunca escutado no mundo, de Lotário Sarsi, sirva de pseudônimo para alguém que quer permanecer desconhe-

cido, não procurarei, como fez Sarsi, armar uma luta com alguém por querer desmascará-lo, pois não acho digna esta ação, nem de alguma ajuda a esta minha obra. Pelo contrário, considero que tratar com uma pessoa desconhecida oferece mais clareza ao meu raciocínio e simplifica a tarefa de explicar livremente minha opinião. Porque, muitas vezes, aqueles que permanecem incógnitos, ou são pessoas temerosas

que sob aquele disfarce querem se passar por senhores e gentis-homens e desta maneira, por alguma finalidade pessoal, valer-se daquela honra que a nobreza traz consigo, ou às vezes são gentis-homens que deixando cair, assim disfarçados, o respeito devido ao próprio grau, atribuem-se o direito, como é costume em muitas cidades italianas, de poder falar livremente de qualquer coisa com qualquer um, achando extremamente divertido que alguém, seja quem for, possa com eles discutir sem respeito e ironizá-lo. A este segundo grupo deve pertencer, acredito eu, aquele que se esconde sob a máscara de Lotário Sarsi, e acredito também que, assim como às escondidas ele resolveu falar contra mim porque cara a cara ele provavelmente teria se recusado [24, p. 119].

O sucesso do livro pode ser creditado em parte a seu conteúdo científico ser acessível. Porém, seu grande êxito se deve mais ao seu caráter literário que científico. Ele tinha todos os requisitos para se tornar um acontecimento intelectual, e assim foi.

“Nem mesmo os mais ardentes e otimistas promotores romanos da publicação de *Il Saggiatore* haviam inicialmente ousado

prever um triunfo destas dimensões” [8, p. 36].

O livro pode ser entendido como um manifesto intelectual de um grupo. Este grupo sugeriu-o a Galileu, o revisou, corrigiu e publicou. Tal grupo era conhecido como a Academia dos Lincei e girava em torno do mecenas Federico Cesi – Galileu aderiu a Academia em 1611. O círculo dos Lincei se colocava como um concorrente da cultura oficial. Seus expoentes eram desejosos da nova filosofia contra o saber ‘escolástico’ tradicional, e o *Il Saggiatore* foi apresentado como um manifesto oficial de seu projeto.

A obra ressaltava as opiniões do *Optica* de Kepler acerca da reflexão luminosa. Porém, o próprio Kepler sublinhou falhas de interpretação de Galileu, reconhecendo a originalidade de *Il Saggiatore*, mas não no tocante às controvérsias astronômicas, que considerou fraca e com argumentos inexactos (ibid.).

Em relação à controvérsia sobre os cometas, Galileu entrou na polêmica sobre sua natureza e movimento com meios muito inferiores aos de Grassi. Seu objetivo, segundo Redondi, era desconstruir argumentos favoráveis à astronomia e à cosmologia não copernicanas. Sua motivação para isto era evitar que teorias sobre os cometas descreditassem Copérnico, pois um corpo celeste dotado de movimento não circular era uma ameaça a este sistema. Então, Galileu, sem observação, tampouco cálculos, sustentou que os cometas não eram corpos celestes, mas aparências luminosas, como o arco-íris. Galileu explicava a visualização dos cometas como uma reflexão luminosa sobre evaporações atmosféricas, elevando-se além do cone da sombra terrestre como a aurora boreal. Desta forma, a alegação de Galileu não era mais que uma variante ótica de uma explicação de Aristóteles nos *Meteoros*. Logo, *Il Saggiatore* não trata de teses originais nem em Astronomia nem em observações. Tratava-se de argumentos polêmicos que eram mais designados a desacreditar a segurança dos raciocínios adversários, do que criar um novo conhecimento sobre cometas em astronomia [14].

O planejamento do livro começou em 1620, no núcleo da Academia dos Lincei. No final de 1622 o manuscrito chega até as mãos de seus membros, onde passa a ser revisado coletivamente. O livro é impresso pela primeira vez nos meses de abril e maio de 1623 e sua licença da autorização eclesiástica data de 3 de fevereiro daquele ano. O texto de tal autorização traz um elogio entusiasmado assinado pelo padre dominicano Niccolò Riccardi [8].

No mesmo ano da impressão de *Il Saggiatore*, o papa Gregório XV morre. Para a sua sucessão é eleito em seis de agosto o cardeal Maffeo Barberini, que adota o nome de Urbano VIII. Amigo de Galileu e intelectual refinado, a eleição do novo papa traz preocupação aos jesuítas, que desconfiam das possíveis aberturas do novo papado. No novo regime, três membros dos Lincei mantêm relações íntimas com o poder: Monsenhor Ciampoli (eminência parda da secretaria dos Breves), monsenhor Cesarini (oficial da câmara do papa) e o laico cavaleiro Cassiano Dal Pozzo (secretário do sobrinho do papa – que é nomeado membro dos Lincei, e que logo

em seguida se torna cardeal e superintendente geral para todas as questões seculares e eclesíásticas de Roma). No fim de outubro de 1623 o *Il Saggiatore* estava pronto e foi dedicado ao papa que o achou divertido e ficou admirado. Galileu foi aconselhado por Ciampoli a aproveitar o momento favorável e não privar o mundo de suas especulações científicas (ibid.).

O pontificado de Barberini era reformador. Aberto a um saber moderno na busca de um catolicismo mais renovado do que contra-reformista. O ambiente político, cultural e religioso do novo pontificado fizera do *Il Saggiatore* o acontecimento literário deste período, sendo impossível entender sua reverberação sem compreender este clima renovador do início do reinado do papa Urbano VIII. Para monsenhor Ciampoli, o novo pontificado iria produzir uma mudança sem precedentes na Igreja. Iria fazer dela o instituto espiritual dos homens modernos. Para ele, Galileu era o moderno filósofo cristão que substituiria o velho grego Aristóteles na cultura católica. O triunfo de *Il Saggiatore*, orquestrado por Ciampoli, confirmou a esperança em uma “admirável conjuntura” no novo papado [14].

As características que faziam do *Il Saggiatore* um manifesto da nova filosofia em Roma eram sua recusa a uma submissão dogmática ao princípio de autoridade no campo filosófico, a reivindicação de uma linguagem nova, também aos direitos de pesquisa e de livre discussão intelectual contra o abuso da cultura institucional. Ele foi um sucesso porque contestava toda uma tradição intelectual. Tal característica da obra pode ser percebida em passagens como:

Mas raciocine melhor e concorde que alguém que queira nos persuadir a respeito de uma coisa senão falsa ao menos duvidosa leva uma grande vantagem em utilizar argumentos prováveis, hipóteses, exemplos verossímeis, sofismas, alicerçando-se e escondendo-se atrás de textos muito claros, atrás de autoridade de outros filósofos, de naturalistas, de retóricos, de historiadores. Mas apresentar rigorosas demonstrações geométricas é perigoso demais para aquele que não as sabe utilizar bem; pois, como em relação a uma coisa não existe caminho do meio entre a verdade e o falso, assim nas demonstrações necessárias ou aceitamos conclusões indubitáveis ou silogiza-se sem desculpa” [24, p. 188].

Quando o livro foi publicado, os cometos já estavam fora de moda e poucos ainda tinham interesse no assunto. Porém,

o debate entre Galileu e Sarsi acerca da física dos fenômenos perceptíveis pelos sentidos interessava aos leitores. Sarsi sustentava que a explicação aristotélica para o calor era correta, onde calor, dureza, cor e cheiro eram inerentes a uma substância; qualidades reais ou formas substanciais. Só um milagre poderia fazer uma qualidade subsistir separada da própria substância. *Il Saggiatore* propõe a interpretação que o calor é produzido quando a fricção de dois corpos é tão forte que desprende algumas partículas de matéria, e assim sendo o calor era associado a uma emissão de partes muito sutis de substância. Galileu não tinha nenhuma observação ou medição de perda de peso de um corpo aquecido para aventar sua hipótese, tendo sido ela uma elaboração puramente teórica. Para desacreditar a opinião de seu adversário jesuíta, Galileu apela à arma do ridículo, direcionada para sua devoção ao princípio da autoridade da tradição, argumento mais ilustre da instituição cultural da Companhia de Jesus. Tal apelo era considerado pela ordem mais que sagrado; era um valor de caráter religioso e um ponto fundamental da luta contra a heresia. Ela entendia que eliminar o princípio de devotado respeito aos autores do passado significava ter caminho livre para propor criticamente velhas ou novas hipóteses sob uma abordagem inteiramente diferente [8].

O livro defendia que as qualidades sensíveis existem somente na sensação e não na substância material. Já o *De Anima* de Aristóteles assume como real as percepções sensoriais; era uma considerável mudança de perspectiva aquela apresentada pelo *Il Saggiatore*. O livro deixou de lado bem rápido a polêmica sobre cometas e tornou-se rapidamente naquilo que fora encomendado a Galileu: um tratado polêmico sobre física.

Il Saggiatore propunha enfraquecer a física aristotélica, ao traduzir suas proposições predicativas com respeito a experiências de qualidade por uma nova linguagem. Por exemplo, em vez de fazer afirmações do tipo “o fogo é quente”, a obra fazia qualificações do tipo “o fogo transmite uma sensação de calor”. Faltava explicar como a sensação de calor se transmitia. Para isso, Galileu procurava convencer os leitores que as sensações podiam ser devidas ao movimento de partículas de matéria, diminutas e imóveis, que eram dotadas de forma que

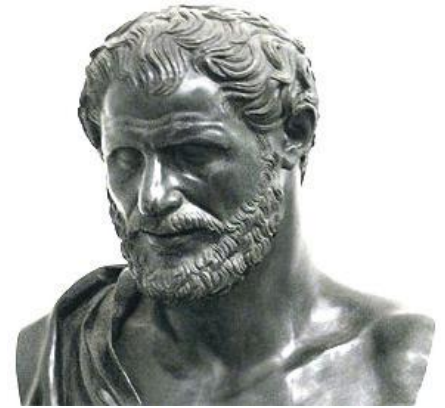


Figura 4: Busto de Demócrito de Abdera.

tornavam possíveis as sensações. De acordo com esta interpretação do livro, não existia qualidade sem átomos. Esta compreensão de Galileu fica bem caracterizada em passagens como:

[...] havendo já relatado como muitas sensações, que são reputadas qualidades ínsitas nos sujeitos externos, não possuem outra existência a não ser em nós, não sendo outra coisa senão nome fora de nós; afirmo que, levado a acreditar que o calor seja um fenômeno deste tipo, e que aquelas matérias que produzem e fazem perceber calor em nós, matérias que nós chamamos com o nome geral de fogo, sejam uma multidão de pequeníssimos corpos, com determinadas figuras, movimentados com velocidade enorme” [24, p. 241].

Tais afirmações provocaram um impacto nos leitores da década de 1620, pois se colocavam como uma recusa de uma filosofia ligada à religião, e ainda valorizava ideias marginais, condenadas e rejeitadas. Além da recusa de Aristóteles, o *Il Saggiatore* se identificava com uma galeria de autores pouco recomendáveis como Demócrito (Fig. 4), Bruno, Occam, Campanella e Copérnico. Os que entre eles eram católicos haviam sido condenados

pela Igreja. Segundo um grande teólogo tridentino dominicano, padre Melchior Cano, era impossível conciliar a defesa da religião cristã com a filosofia de Demócrito. Logo, o atomismo era um assunto potencialmente perigoso de se abordar, mesmo para um católico devoto como Galileu [8].

Durante a “admirável conjuntura”, a cultura religiosa estava em movimento. As tensões intelectuais embutidas no ciú-

Para desacreditar a opinião de seu adversário jesuíta, Galileu apela à arma do ridículo, direcionada para sua devoção ao princípio da autoridade da tradição, argumento mais ilustre da instituição cultural da Companhia de Jesus

goso de se abordar, mesmo para um católico devoto como Galileu [8].

me alheio pelo imenso poder tradicionalmente desfrutado pela Companhia de Jesus desafogava-se em forma de adesão a Galileu, o que colocava em cheque o prestígio até então onipresente e indiscutível do Colégio Romano. A Companhia de Jesus passou por um momento difícil, o que fez os galileanos acreditarem em uma força maior do que a que existia durante o início do papado de Urbano VIII. Eles haviam colocado seus adversários jesuítas a distância, mas não diminuiram nem um pouco sua importância. Os galileanos tinham sido favorecidos por uma conjuntura política excepcional, porém a situação iria mudar.

Um sinal que a “admirável conjuntura” estava terminando é o episódio envolvendo o arcebispo Marco Antonio De Dominis. Em 1624, ele já estava morto

avia três anos e meio, o que não impediu que o Santo Ofício o condenasse a fogueira. Sua condenação foi por heresia reincidente. De Dominis teve que ser exumado para ter posteriormente seu corpo queimado no Campo Del Fiore. A razão desta atitude do Santo Ofício foi como uma manifestação de rigor e um aviso. Terminavam ali as últimas ilusões políticas de reunificação pacífica da cristandade. O caso guarda semelhanças com o que terá como protagonista Galileu, oito anos depois. De Dominis havia editado na Inglaterra o livro de Paolo Sarpi *Istoria del Concilio Tridentino*, no qual a mais importante decisão doutrinal de Trento, o dogma da transubstanciação na eucaristia, foi atacado (ibid.).

Os jesuítas estavam engajados na defesa do dogma da transubstanciação em meados da década de 1620. A reação dos jesuítas pode ser medida na aula inaugural do Colégio Romano no ano acadêmico 1624-25, proferida pelo padre Fabio Ambrogio Spinola. Em sua fala, ele parece seguro ao afirmar que os adeptos da nova filosofia natural eram heréticos. No Século XVII, heresia era a palavra mais importante do vocabulário romano. Os tempos do ânimo literário haviam passado. No horizonte existiam sinais desfavoráveis e a postura dos jesuítas contra as heresias dos inovadores em Roma confirmava-se rapidamente: *Il Saggiatore* foi denunciado ao Tribunal do Santo Ofício. A denúncia foi feita quando o livro ainda tinha grande prestígio perante as autoridades do Vaticano. Galileu soube da denúncia em carta

de Mario Guiducci, seu informante em Roma, datada de 18 de abril de 1625. No entanto, sua revelação era tardia, pois a denúncia havia sido feita há vários meses. Guiducci relata que o motivo da denúncia era a defesa da doutrina copernicana, e ainda tranquilizava Galileu com a informação de que um cardeal e um teólogo não deram pareceres favoráveis a denúncia (ibid.).

Como *Il Saggiatore* não sofreu nenhuma perseguição oficial, a comunicação de Guiducci foi aceita ao pé da letra por grande parte dos historiadores. Porém, existem interpretações diferentes, como a de Stil-

mann Drake, que observou que a acusação sobre o *Il Saggiatore* de louvar o copernicanismo era falsa [25]. Também Redondi discorda da veracidade da informação de Guiducci. Para o historia-

dor italiano, o informante de Galileu não verificou minimamente seu comunicado. Na mesma carta, ainda, é possível perceber informações equivocadas, como a de descrever erroneamente quem era o padre Giovanni Guevara (que, segundo Guiducci, seria o responsável pelo não andamento da denúncia oferecida ao livro), então influente prepósito superior dos clérigos regulares menores. *Il Saggiatore* foi lido e relido pelos membros da Academia dos Lincei para evitar justamente passos em falso em relação a doutrina copernicana.

No livro não existe exposição às escondidas das ideias de Copérnico, já que o polonês não se ocupou de cometas. A intenção do livro era contestar a filosofia aristotélica do Colégio Romano. Galileu não poderia ser acusado de copernicanismo baseado em *Il Saggiatore*. Ao contrário, pode-se acusar Galileu de hipocrisia, ou mais elegantemente de dissimulação honesta: a única vez que se fala dos movimentos da Terra na obra, sem acrescentar uma retratação formal, é quando ele evoca uma experiência ilustrativa que mostra a “falsidade” da doutrina copernicana. No texto do livro, após expor características do sistema ptolomaico, Galileu afirma que:

Depois, em relação a hipótese de Copérnico, mesmo que para benefício de nós católicos da mais soberana sabedoria não tivéssemos sido esclarecidos em nossos erros e iluminada a nossa cegueira, não acredito que uma tal graça e bene-

fício tivessem podido obter-se pelos raciocínios e pelas experiências expostas por Tycho. Sendo, então, certamente falsos os dois sistemas de mundo e nulo o de Tycho [24, p. 130-31].

Denunciar Galileu em 1624 não era mais apenas oferecer denúncia contra o matemático e filósofo de Roma, pois ele gozava de um tratamento excepcional a seu favor, devido a seu apoio na cúria romana. Denunciar *Il Saggiatore* era se tornar de imediato, ou já ser, um crítico hostil do pontificado de Urbano VIII. Tal denúncia pretendia oferecer uma sombra sobre o novo regime. Todos os envolvidos, direta ou indiretamente, eram atingidos por ela, da Academia dos Lincei ao cardeal-sobrinho, passando pelo papa. Parece natural, então, que as denúncias fossem abafadas antes de provocar algum escândalo a membros tão importantes de Roma, como de fato ocorreu. Houve uma decisão de não instaurar um processo contra o *Il Saggiatore* naquele momento. Não houve nenhum procedimento judicial ou de instrução contra a obra.

Nos arquivos do Vaticano ainda foi possível encontrar um documento sobre o *Il Saggiatore*. Redondi [8] afirma que o manuscrito não assinado é da década de 1620, e que até 1982 tal documento permanecia desconhecido, quando ele teve concedida a permissão para consultá-lo. Trata-se de uma denúncia que pede um parecer a título privado e denunciatório. O texto apresenta duas opiniões suspeitas contidas no *Il Saggiatore*. A primeira é da natureza subjetiva da percepção da cor, do odor e do sabor, e a segunda a explicação dos fenômenos mediante os átomos de Demócrito. Esta última podia ser considerada formalmente herética porque era inconciliável, segundo a denúncia, com a fé católica e contrária à autoridade da tradição teológica. A crítica era acerca do materialismo atomístico do livro. Este é o pretexto da denúncia, que afirmava que o atomismo de Galileu era uma doutrina herética, pois era derivado do materialismo de Anaxágoras ou da teoria dos átomos figurados de Demócrito. O texto defende que os átomos de Galileu são substanciais e que a doutrina do autor não é compatível com a existência dos acidentes eucarísticos estabelecidos pelo cânone 2 da XIII sessão do Concílio de Trento. Se forem interpretados os acidentes como defende o *Il Saggiatore*, diz a denúncia, então mesmo após a consagração serão partículas de substância do pão eucarístico que produzirão sensações, restando partículas do pão na hóstia consagrada, o que se constitui um erro segundo o Concílio

de Trento. Com base nestes argumentos, o denunciante pedia o julgamento competente do Santo Ofício da acusação mais grave de todas na década de 1620.

A descoberta do documento parece indicar que *Il Saggiatore* não foi denunciado por apologia ao copernicanismo, mas por sua doutrina atomística. Por razões de conveniência política, o processo aberto não seguiu o procedimento normal. No fim, a denúncia foi arquivada por ter sido considerada improcedente. Redondi (op. cit) procurou identificar o autor da denúncia anônima. Para ele, não há dúvida que se tratava de um jesuíta. O padre Grassi fora humilhado pelo livro, ficando furioso com

Os adversários de Galileu aguardavam com ansiedade o *Dialogo*, se bem que não havia nada de novo a descobrir nesta obra, em matéria de cosmologia. O *Dialogo*, hoje, pode ser entendido, sobretudo, como uma grande obra didática sobre o sistema copernicano. No *Dialogo*, seu autor defende o atomismo em filosofia natural

sua publicação. Assim, prometera uma resposta rápida a Galileu. No entanto, sua réplica demorou, pois como arquiteto da Igreja de Santo Inácio, estava envolvido com esta obra. Também a publicação da resposta poderia comprometer a Companhia de Jesus, a quem não convinha se engajar publicamente contra alguém acolhido pelo papa e pela cúria. O historiador italiano acredita que Grassi foi o autor da denúncia anônima no início do verão romano de 1624. De acordo com Redondi, até a caligrafia da denúncia era muito semelhante a deste jesuíta. Um ano depois de começar, o padre Grassi finaliza o texto de resposta a *Il Saggiatore*, que seria publicado na França para não comprometer a Companhia de Jesus. O livro saiu no final de 1626 em Paris, tendo como autor o pseudônimo de Grassi, Lotario Sarsi. O novo livro não avançava nada na discussão dos cometas. Sendo decorrente de uma polêmica pessoal e filosófica, procurava desmascarar a natureza herética das ideias de *Il Saggiatore*. Tachava o atomismo de Galileu de doutrina baseada em Epicuro e denunciava o livro por heresia eucarística, texto bastante semelhante ao da denúncia anônima ao Santo Ofício. *Il Saggiatore* é acusado de afirmar expressamente a teoria subjetiva das qualidades sensíveis também no caso dos acidentes eucarísticos, o que, segundo o Concílio de Trento, era falso. Sarsi ainda afirma que o atomismo do livro se aplica a todos os fenômenos sensíveis, não só para o calor. A denúncia da heresia eucarística que até a publicação do livro de Grassi era restrita ao Santo Ofício, tornara-se pública.

O impacto de tais denúncias sobre Galileu pode ser medido em sua cópia do livro

de Grassi, hoje na Biblioteca Nacional de Florença. Nele pode-se perceber, através de suas anotações, preocupação a cada acusação de heresia feita por Grassi. Quando se deparou com a acusação mais grave, o tom de suas anotações indica medo. Sua reação perante tais denúncias foi avaliar a proteção que gozava em Roma na falta de outros argumentos possíveis – Galileu estava certo em contar com a impunidade.

Em 18 de abril de 1631, o padre Grassi fez a solene e prestigiosa oração na celebração papal da grande liturgia da Sexta-Feira Santa, tradicionalmente destinada aos padres jesuítas do Colégio Romano. A fala teve o caráter de uma ameaçadora profecia política. O discurso reprovava a negligência do papa na guarda e na vigilância dos valores fundamentais da Igreja tridentina. Desde o ano anterior, o papa e o cardeal Borgia tinham opiniões conflituosas durante as reuniões semanais do Santo Ofício. Borgia acusava o papa de uma tolerância excessiva com a heresia em Roma; clamava por uma ação enérgica, exigindo uma postura sem medidas contra a heresia e a novidade subversiva. A fala de Grassi concretizava a advertência. Menos de um ano depois, o papa Barberini conheceu sua mais grave crise política, quando o cardeal Borgia fez uma denúncia aberta, no conselho de estado da Igreja, de aliança herética com o rei sueco. A notícia da denúncia de Borgia correu a Europa e era acompanhada da de que, daquele momento em diante Urbano VIII (Fig. 5) iria se tornar intransigente com os heréticos e inovadores. O papa ficou isolado na cúria romana, a ponto de chegarem-lhe ameaças de intervenção direta de Madrid e Nápoles, inclusive alguns pedidos de deposição. O papa cede e ocorre uma reviravolta política e ideológica na cúria romana. As mudanças também alteravam as condições dos inovadores e virtuosos. Os jesuítas ocupavam novamente os espaços de poder; a “admirável conjuntura” terminara (ibid.).

Não havia momento mais inapropriado para uma publicação da nova filosofia, mas em meio à reviravolta política em Roma, em Florença saía o *Dialogo Sopra i due Massimi Sistemi del Mondo* de Galileu. O livro usava a explicação das marés como demonstração suplementar a favor do movimento da Terra. Ele fora preparado com muitas preocupações. Assim, seu tí-

tulo original de *Del Flusso e del Riflusso del Mare* foi alterado por prudência. Teólogos autorizados pela Ordem Dominicana revisaram a obra: o prefácio foi visto e revisto pelo padre Riccardi (mestre do Sacro Palácio); o texto foi examinado em Roma pelo padre Viscondi e, no momento da impressão, em Florença, pelo padre dominicano Giacinto Stefani. Galileu manteve a promessa de apresentar a cosmologia copernicana com a ajuda do raciocínio científico, mas junto com a vigilante cautela da prudência teológica. Os primeiros exemplares estavam em Roma no fim de maio de 1632, quando ele foi ofertado ao cardeal Francesco Barberini em primeiro lugar. Os adversários de Galileu aguardavam com ansiedade o *Dialogo*, se bem que não havia nada de novo a descobrir nesta obra, em matéria de cosmologia. Em relação ao copernicanismo, o livro havia tomado todas as precauções. Ele tinha autorização oficiosa e respeitara a condição de apresentar a doutrina de Copérnico de modo hipotético, sem se referir às Escrituras. Elas foram evitadas em todo o livro. O *Dialogo*, hoje, pode ser entendido, sobretudo, como uma grande obra didática sobre o sistema copernicano. No *Dialogo*, seu autor defende o atomismo em filosofia natural. Porém, com a ressalva de não relacionar este tema com a questão do milagre da eucarística. Por prudência, ou por sugestão dos consultores teológicos, Galileu não fala em átomos. O *Dialogo* foi recebido em Roma como uma reprise das formulações materialistas anteriores publicadas em *Il Saggiatore* [14].

Para provocar a incriminação de Galileu, aproveitando a ocasião do lançamento do seu novo livro, e assim pressionar o



Figura 5: O papa Urbano VIII.

papa, ocorreu o que Redondi chama de 'teatro de sombras'. Padre Riccardi, mesmo procurando se dissociar de Galileu, fez soar o alarme de que por trás de tal teatro estavam os jesuítas. Ele escreve a Florença para que se interceptassem todos os exemplares do livro antes que partissem para Roma, a fim de evitar um escândalo. Os motivos para o sequestro, ele justifica, eram questões misteriosas e explosivas. Para Redondi, o motivo do sequestro não tinha relação com sistemas astronômicos.

Para o historiador italiano, os jesuítas tinham razões mais importantes e profundas, não relacionadas com a doutrina copernicana. Até porque, "os trechos da Bíblia concernentes ao problema do movimento do Sol não

eram nem tão numerosos nem tão importantes, e de resto nenhum concílio havia jamais estipulado o geocentrismo como verdade de fé" [8, p. 47]. Mas com a transubstanciação e sua impossibilidade de conciliação com a filosofia da matéria atomista era diferente, tanto que a Companhia de Jesus estava em uma verdadeira cruzada contra o atomismo de Demócrito durante a década de 1630. O que levou, em 1º de agosto de 1632, a ordem dos jesuítas a proibir severamente a doutrina dos átomos, que até então não tinha precedentes tão oficiais.

A origem do caso do *Dialogo* durante o verão romano de 1632 pode ter sido por denúncias escritas das quais não se conhece o registro. Tal fato levou muitos historiadores a levantar hipóteses de que fora o rancor do próprio papa que teria dado início ao processo. Na interpretação de Redondi, o papel do papa no julgamento de 1633 foi totalmente diferente. Para uma denúncia de ortodoxia e fé – como o caso do *Dialogo* – o mais comum seria encaminhar a denúncia ao Santo Ofício. No entanto, Galileu parece ter tido direito a tratamento especial. A sua causa não fora tratada pela jurisdição do Santo Ofício, mas sim conduzida por dois dos mais influentes amigos de Galileu na cúria: o papa e o cardeal Francesco Barberini, que tentaram sufocar o caso antes que ele nascesse. Com a tentativa de impedir a distribuição do livro em Roma frustrada, não se podia fingir que o livro nunca fora publicado. Já que não era possível esconder o objeto do escândalo, era preciso fazer desviar sua trajetória para que o papado não fornecesse novos argumentos a quem já o colocou em estado de acusação ideológica. Não

A origem do caso do *Dialogo* durante o verão romano de 1632 pode ter sido por denúncias escritas das quais não se conhece o registro. Tal fato levou muitos historiadores a levantar hipóteses de que fora o rancor do próprio papa que teria dado início ao processo

se podia levar o caso ao Santo Ofício, onde o cardeal Borgia era influente e teria mais uma oportunidade de lançar acusações contra o papa de imprudência e de falta de firmeza na defesa da Contra-Reforma. Levar o caso ao Santo Ofício seria suicídio político para Urbano VIII. Impunha-se, então, ao papa Barberini chamar o caso para si [14].

Admitir a manobra papal, segundo Redondi [8], pode ajudar a entender por-

que no verão de 1632 as denúncias contra Galileu, em vez de seguirem o trâmite normal, foram submetidas a uma comissão especial sob o controle direto do papa. Tal comissão foi presidida pelo cardeal Francesco Barberini. Ele a coordenou com extrema reserva. Tais comitês só se justificavam em casos de excepcional gravidade, mas, sobretudo de natureza teológica difícil. Outra comissão desta natureza não foi jamais instituída de novo por Urbano VIII. Levou duas décadas para que outra fosse instaurada novamente, já no pontificado de Inocêncio X. Só sabiam do que se tratavam as denúncias sobre o *Dialogo* o mestre do Sacro Palácio e o cardeal Barberini. A comissão se reuniu pela primeira vez em meados de agosto com o objetivo oficial de estudar a possibilidade de evitar que o *Dialogo* fosse levado ao Santo Ofício. Tal justificativa oficial é considerada pela maioria dos historiadores como sem fundamento. No entanto, Redondi defende que o papa não mentiu na ocasião. Para reforçar seu argumento, ele destaca que Galileu foi aconselhado a não exercer pressão diplomática sobre a comissão, caso quisesse realmente ajudar a si próprio.

Os membros da comissão eram três. Monsenhor Oreggi, teólogo pessoal do papa, provavelmente foi indicado pelo próprio pontífice. Oreggi não havia tomado antes, tampouco depois, nenhuma iniciativa polêmica contra Galileu ou algum galileano. O segundo membro era também um dos homens do papa, um padre teatrino de nome Pasqualigo. Os teatrinos eram protegidos pelo papa e em 1632 estavam no máximo de uma furiosa controvérsia contra os jesuítas. Este membro era um teólogo especialista em matéria eucarística. Um teólogo dos novos tempos da admirável conjuntura do início do pontificado. Desse modo, os dois primeiros membros pareciam pessoas apropriadas para livrar o papa do constrangimento de uma denúncia sobre matéria eucarística

contra Galileu. O terceiro membro da comissão não tinha este perfil. Ele era um jesuíta. Para dissipar toda a suspeita sobre a comissão se fazia necessário alguém da Companhia de Jesus. O padre Riccardi procurou a pessoa certa e a encontrou em seu amigo, padre Melchior Inchofer. Um conhecido e feroz anticopernicano, Inchofer era uma figura menor em relação a autoridade teológica dos outros dois membros da comissão. A escolha de Riccardi, como ele assegurou ao embaixador florentino, não foi somente pela amizade com Inchofer, mas por Riccardi considerá-lo o mais inofensivo jesuíta entre todos os presentes em Roma a época [14].

A comissão se reuniu cinco vezes e depois de um mês havia concluído seu trabalho, coberto do mais absoluto segredo. Ela forneceu ao Tribunal do Santo Ofício uma instrução perfeitamente preparada para um rápido processo contra Galileu com base em uma acusação bem reduzida: a violação do *Dialogo* da proibição comunicada a ele em 1616 por Bellarmino de defender a teoria copernicana condenada pelo Santo Ofício. Do comitê resultou que a maior acusação oficial era de desobediência e o corpo de delito era o *Dialogo*. Desta forma, a acusação não era muito grave nem para Galileu, nem para seus protetores. Tratava-se de heresia inquisitorial e não heresia doutrinária, o que significa uma infração a um decreto e não sobre uma matéria perversa de altíssimo grau. Os executores do Santo Ofício deveriam se ater às acusações da comissão, e eles fizeram isso. O papa, desta forma, dissociava-se do processo, também de não mais ser complacente com as novidades. Dava assim uma satisfação a quem suspeitava de heresias mais graves sob sua proteção.

Segundo a interpretação de Redondi [8], no entanto, o *Dialogo* não foi o único livro denunciado. Para fortalecer seu ponto de vista, o historiador italiano cita informações em correspondências da época. Em uma delas, o padre Campanella informa a Galileu que os teólogos da comissão analisavam mais de um livro. Também em correspondência do cardeal Barberini ao nuncio de Florença, ele fala em mais de uma obra averiguada pela comissão, nas quais se encontrou aspectos suspeitos. Se entre as obras investigadas estivesse o *Il Saggiatore*, haveria mais que acusações sobre o copernicanismo. Se de fato o objetivo da comissão instaurada pelo papa era analisar denúncias acerca de cosmologia; por que só havia teólogos na comissão e nenhum deles com títulos científicos e adequados para julgar as argumentações astronômicas e físicas do *Dialogo*? A inter-

pretação de que a comissão não se ocupava de questões de astronomia foi reforçada em 1999, quando o historiador italiano Mariano Artigas encontrou o relatório de Inchofer como parte de suas conclusões no comitê especial. No relatório, Inchofer fala de questões filosóficas em relação a eucaristia e não se refere em nenhum momento a questões astronômicas. Ele inicia seu relatório dizendo que “percebi que se tratava da filosofia de alguém que não se atém a filosofia verdadeira. Seja por erro ou ignorância, sempre é imprudente” [14, p. 230].

No mês de setembro de 1632, o relatório oficial da comissão foi enviado para o Santo Ofício para que se iniciasse o processo judiciário. Não foram submetidas as matérias suspeitas do livro que haviam sido inicialmente denunciadas e nem as próprias denúncias. Quando o embaixador florentino entrega ao papa uma nota de protesto contra a comissão por ele instituída, o pontífice afirma que ele fizera um grande favor a Galileu em não submeter tal matéria ao tribunal, mas a uma congregação especial. No dia 18 de setembro, o embaixador de Florença é recebido pelo papa em audiência, onde Barberini afirma que não foi possível livrar Galileu do processo como havia solicitado o embaixador. Todavia, acusações gravíssimas, bem mais graves do que as que se poderia imaginar, agitavam-se por detrás do caso. O papa ainda acentua que ele não esquecera a sua amizade de longa data com Galileu [8].

Em 12 de abril inicia-se o processo contra Galileu. Ele teve sua versão oficial descrita em inúmeras obras e os autos foram publicados na edição nacional das *Opere*, de Galileu. O processo em si é apenas um apêndice judiciário, a execução de disposições incriminatórias selecionadas e reunidas na fase da comissão. O papa teve um comportamento ativo em todo processo. Ele impediu que o processo seguisse seu trâmite normal, chamou para si a instrução, ocultou as denúncias e não deixou nada transparecer. Apesar de se falar em matérias suspeitas e de vários livros, apenas o *Dialogo* é incriminado e por infração a uma proibição. O caso era de Estado, pois se tratava do membro oficial do papado sendo suspeito de heresia contra a fé. A situação era muito semelhante a que se produziu quando o *Il Saggiatore* foi denunciado, mas em 1633 a situação política era outra. A condenação oficial de Galileu era a única saída para evitar um escândalo político maior ligado ao papa; o momento exigia uma manifestação pública de firmeza do pontífice [14].

O processo oficial parece encobrir uma história diversa e complexa e várias

medidas extrajudiciais sugerem um apoio a este ponto de vista. Um deles se refere a quando Galileu, na primeira audiência, adotou uma postura de defesa. O acusado, em vez de colaborar, tornava a situação mais difícil. O juiz, padre Vincenzo Maculano da Firenzuola, recorreu a seu chefe, cardeal Francesco Barberini. Na tarde de 27 de abril de 1633, o juiz apresenta-se para um encontro privado com o acusado, sem testemunhas. A maioria dos historiadores defende que se tratava de uma reunião para ameaçar Galileu com um maior rigor processual. Mas para isto era necessário o sigilo? Redondi levanta a hipótese de que o encontro tenha servido para que o juiz tivesse explicado com argumentos convincentes que criar obstáculos a linha processual seria mais que contraproducente para o acusado. Seja como for, Galileu, já a partir da audiência seguinte, submeteu-se a incriminação oficial. Entregando-se a autoacusações de copernicanismo, de maneira, segundo Redondi, até clamorosa demais. O juiz se reportou ao cardeal Barberini: “o tribunal salvará sua reputação e poderá ser benevolente com o réu. Sua Santidade e Vossa Eminência ficarão satisfeitos” [8, p. 290]. Em 22 de junho, após um breve ato judiciário, depois de ter ouvido a sentença oficial, Galileu abjura a doutrina copernicana. O cardeal Borgia não ficou convencido. Tampouco totalmente satisfeito com a sentença oficial do, como chamou Redondi, processo-farsa. Em protesto, absteve-se de assinar a sentença. Galileu, em vez de começar a cumprir a pena em uma cela, por ordem do papa, foi instalado na residência do embaixador florentino e em seguida foi posto a cumprir pena sob a

forma de prisão domiciliar em sua casa em Arcetri (Fig. 6).

No reinado papal do Século XVII, as pessoas que desagradavam o sistema eram punidas e afastadas do centro do poder. Assim ocorreu com os desdobramentos do processo de 1633. Mesmo antes de seu início no Santo Ofício, o padre Orazio Grassi foi alvo do poder papal. Ele foi removido de Roma, sem ao menos a desculpa, como era habitual, de uma promoção. Nem mesmo o fato de ser o arquiteto da Igreja de Santo Inácio, então em construção, impediu seu afastamento. Em carta três meses após a conclusão do processo contra Galileu, o padre Grassi mostra completo alheamento à questão da condenação oficial acerca da defesa da doutrina de Copérnico. Ele mesmo se considerava tolerante com o copernicanismo. O padre Grassi não retornaria a Roma enquanto Urbano VIII estivesse vivo. Em 1653, o padre Grassi voltou definitivamente ao Colégio Romano. Ele tinha quase setenta anos. Em 23 de julho de 1654, morre de infarto.

Em sua prisão domiciliar, Galileu renegou sua defesa do atomismo, mas nunca de seu copernicanismo. De certo modo, a lenda do *Eppur si muove* não parece tão sem sentido assim. Galileu morreu em 8 de janeiro de 1642, em Arcetri.

Possíveis implicações para o ensino de ciências

As UEPS são sequências didáticas orientadas pela teoria da aprendizagem significativa sugeridas por Moreira [26], podem tanto estimular a pesquisa aplicada como serem usadas diretamente em sala de aula. A construção da UEPS envolve



Figura 6: Ilustração de Galileu em sua casa em Arcetri.

aspectos sequenciais que serão apresentadas no Anexo, bem como sugestões sobre como utilizar os episódios históricos discutidos anteriormente envolvendo Galileu, fundamentados principalmente na obra *Galileu Herético* de Pietro Redondi (Fig. 7). O primeiro passo é definir o tópico específico a ser abordado. A seguir, desenvolve-se uma situação que leve os alunos a expor seus conhecimentos prévios. Após, propõe-se uma situação-problema

em nível bem introdutório, que leve em consideração os conhecimentos prévios e que preparem o ambiente para a introdução das questões a serem discutidas. O quarto aspecto sequencial envolve apresentar o conhecimento a ser discutido. A seguir, retomam-se aspectos mais gerais e estruturantes dos temas discutidos em nova abordagem, em um nível mais alto de complexidade, por meio de novas situações-problemas. Por fim, a avaliação

deve ser pensada para procurar indicativos de aprendizagem. Para tanto, propõe-se a realização de um grupo focal.

Considerações finais

O episódio de Galileu em 1616 é um bom exemplo de que a avaliação dos cientistas não foi aceita sem um exame mais profundo. Ela foi avaliada externamente e seus supostos equívocos foram encontrados. Esta avaliação externa contou com

UEPS abordando os episódios históricos dos julgamentos de Galileu na formação de professores

Objetivo

Discutir os episódios históricos envolvendo os julgamentos de Galileu sob um viés relativista durante a formação inicial de professores, procurando fomentar um ambiente de ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica.

Sequência

1. *Situação inicial*: desenvolver uma dinâmica de grupo para levantar as concepções prévias dos professores em formação acerca do(s) julgamento(s) de Galileu. Ela pode se dar através da construção de mapas conceituais e de sua apresentação e discussão ao grupo procurando responder as seguintes questões: O que levou Galileu a ser julgado no Século XVII? Galileu foi injustiçado pela Igreja? Exemplos deste tipo de estratégia podem ser encontrados na literatura (Pacheco e Damasio, 2009).

2. *Situações-problema*: Propor questões: i) há mais de uma maneira de abordar os episódios históricos em questão? ii) existe apenas uma história da ciência ou histórias da ciência que dependem de como se concebe seu processo de construção? Conforme sugere Moreira (2011), todas estas situações devem ser discutidas em grande grupo, com mediação docente, sem necessariamente chegar a respostas.

A seguir, distribuem-se cópias do texto abordando os julgamentos de Galileu apresentados neste artigo; além de materiais diversos que também discutem, com outro viés epistemológico, os mesmos episódios. Estes materiais também podem ser vídeos ou até mesmo peças de teatro ou programa de rádio. Então, solicita-se aos professores em formação que procurem identificar a diversidade de pontos de vista nos episódios e como isto se relaciona com as situações-problema colocadas inicialmente.

3. *Revisão*: promover uma discussão expositiva-dialogada que aborde explici-

tamente questões de história e filosofia da ciência. Para tanto, o professor formador trará ao debate a reconstrução histórica dos julgamentos de Galileu sob o viés epistemológico relativista. Também procurará explicitar sobre como a epistemologia de Paul Feyerabend sustenta tal abordagem sobre ciência. Concomitantemente a discussão da natureza da ciência, o professor formador trará questões de ciência que sejam relevantes para entender o conhecimento científico envolvido em cada episódio – assim poderá fomentar um ambiente de ensino de e sobre ciência.

4. *Nova situação-problema*: Discutir, através de uma nova situação-problema, a instrumentalização dos professores para utilizar estas questões de cunho epistemológico na educação básica, juntamente com o debate de conceitos de ciência propriamente dita. Pode haver uma discussão inicial sobre a construção de UEPS, do ensino subversivo e da teoria da aprendizagem significativa crítica. Após isto, apresentar a questão mais geral: como os episódios estudados podem construir para a formação de um cidadão preparado para viver na sociedade contemporânea?

5. *Avaliação somativa individual*: Solicitar aos professores a construção de uma UEPS, com a sugestão de uma questão inicial: de que maneira os julgamentos de Galileu são tratados pelos meios de comunicação, sejam eles obras literárias, de divulgação científica ou universitárias, além de revistas especializadas ou não em ciência, televisão, rádio e internet – existe uma pluralidade de pontos de vista?

6. *Discussão expositiva integradora final*: os alunos apresentam suas UEPS aos colegas, para que sejam feitas críticas e sugestões, conforme sugere Massoni (2010). A discussão poderá indicar diferentes caminhos seguidos pelos professores, dependendo do significado por eles atribuídos ao tema em questão.

É importante perceber se a proposta de cada professor contemplou aspectos de e sobre ciência.

7. *Avaliação de aprendizagem da UEPS*: na apresentação da UEPS, é possível observar indicativos de aprendizagem significativa. Uma avaliação que busque evidências de aprendizagem significativa deve utilizar questões e problemas que sejam novos e não-familiares, e que requeiram máxima transformação do conhecimento. Os questionamentos devem, no mínimo, ser fraseados de maneira diferente do material instrucional. O ideal seria solicitar ao aprendiz uma tarefa de aprendizagem sequencialmente dependente deste material (Masini e Moreira, 2001). Outro ponto a ser avaliado é se as UEPS dos professores em formação permitem fomentar um ambiente orientado pelos onze princípios da teoria da aprendizagem significativa crítica.

8. *Avaliação da própria UEPS*: por meio de um grupo focal, como o sugerido por Gomes e Barbosa (2015), iniciar a discussão com a apresentação de algum outro episódio famoso da história da ciência, por exemplo, a queda da maçã na gênese da gravitação universal, encontrado em obras literárias, de divulgação científica ou universitárias, revistas especializadas ou não em ciência, televisão, rádio e internet. O grupo focal pode ser organizado a partir do questionamento: podemos aceitar tal abordagem de história da ciência sem uma reflexão mais aprofundada? Se os professores em formação levantarem questões de que devem existir outros pontos de vista, outros vieses epistemológicos e que outras fontes são necessárias para aprofundar as questões, se terá um forte indício de aprendizagem significativa crítica e de uma avaliação positiva da UEPS.

Total de horas-aula: 24

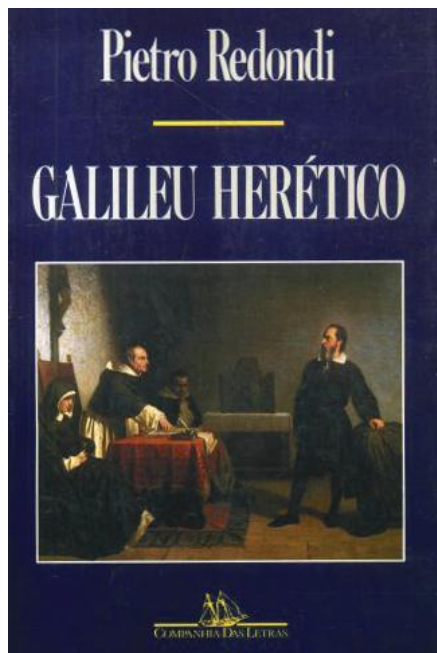


Figura 7: Capa de *Galileu Herético*.

especialistas da área analisada, mas não se limitou a questões puramente técnicas. A conclusão de tal exame mais amplo foi que não fossem propagadas as ideias dos especialistas como sendo a verdade acima de qualquer outra. Apesar disso não houve censura, o que possibilitou o desenvolvimento da área avaliada.

A diversidade de tradições não se coloca como um adversário do desenvolvimento científico. O intercâmbio entre diversas tradições pode fazer o conhecimento científico avançar. Segundo Martins [28], os cientistas do Século XXI têm a tendência de procurar no passado apenas aquilo que se aceita hoje em dia. Porém, no passado anterior à revolução científica, como se chama comumente as importantes mudanças nas ciências nos Séculos XVI e XVII, havia uma fusão entre magia e ciência.

Normalmente se pensa na relação entre ciência e religião como conflituosa ou de luta. No entanto, conforme Brooke [29], este cenário é inadequado para entender a trama de interações do passado.

De acordo com Martins [28], também houve interação entre ambas e é inegável que muitos cientistas fundamentaram seus trabalhos em aspectos teológicos.

Logo, a tradicional interpretação do caso Galileu, de uma batalha entre o céu e o inferno, onde a Igreja é tradicionalmente acusada de ser inimiga do progresso da ciência e Galileu visto como o cientista ocupado em desenvolver o conhecimento científico, pode ter uma interpretação diferente: podem-se interpretar, ao menos neste caso, as atitudes da Igreja como justas e coerentes.

As questões colocadas acerca dos julgamentos de Galileu permitem entender como a história da ciência é repleta de acidentes, conjunturas e curiosas justaposições de eventos. Ela não se constitui de fatos e conclusões oriundas destes fatos. Ela contém interpretações, ideias, erros e problemas criados por interpretações conflitantes. A discussão destas questões no ensino de ciências pode contribuir para a construção de um ambiente que suscite uma aprendizagem *de e sobre* ciência.

Referências

- [1] A. Freitas, *Os 100 Livros Essenciais da Literatura Mundial*, disponível em <http://educarparacrescer.abril.com.br/leitura/100-livros-essenciais-literatura-mundial-644846.shtml>, acessado em 26/1/2015.
- [2] B. Brecht, *Teatro Completo em 12 Volumes. Vol. 6* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1991).
- [3] F.V. Botton, *Gláuks* **12**, 184 (2012).
- [4] M. Gleiser, *Poeira das Estrelas* (Globo, São Paulo, 2006).
- [5] P.R. Mariconda e J. Vasconcelos, *Galileu e a Nova Física* (Odysseus Editora, São Paulo, 2006).
- [6] R.I.L. Ponczek, in: *Origens e Evoluções das Ideias da Física*, organizado por J.F.M. Rocha (EDUFBA, Salvador, 2011).
- [7] A.S.T. Pires, *Evolução das Ideias da Física* (Livraria da Física Editora, São Paulo, 2008).
- [8] P. Redondi, *Galileu Herético* (Companhia das Letras, São Paulo, 1991).
- [9] L.A.P. Martins, *Ciência & Educação* **11**, 305 (2005).
- [10] D. Allchin, *Science & Education* **13**, 179 (2004).
- [11] A.P. Tota e P.I.A. Bastos, *História Geral* (Editora Nova Cultural, São Paulo, 1994).
- [12] A.L.V. Ribeiro, *Rev. Trim.* **36**, 55 (2006).
- [13] *Concílio Ecumênico de Trento (1545-1563) Contra as Inovações Doutrinárias dos Protestantes*, disponível em <http://www.montfort.org.br/old/documentos/trento.html#sessao13>, acessado em 27/12/2014.
- [14] M. White, *Galileu Anticristo – Uma Biografia* (Record, Rio de Janeiro, 2009).
- [15] R.R.F. Mourão, *Que Dia é Hoje?* (São Leopoldo, Editora Usininos, 2003).
- [16] L.O.Q. Peduzzi, *Força e Movimento: De Thales a Galileu* (Florianópolis, Publicação interna/Departamento de Física/Universidade Federal de Santa Catarina, 2015).
- [17] P. Duhem, *To Save the Phenomena, An Essay on the Idea of Physics Theory from Plato to Galileo* (University of Chicago Press, Chicago, 1963).
- [18] O. Gingerich, *O Livro que Ninguém Leu – Em Busca das Revoluções de Nicolau Copérnico* (Record, Rio de Janeiro, 2008).
- [19] P.K. Feyerabend, *Adeus à Razão* (Editora da Unesp, São Paulo, 2010).
- [20] M.A. Finocchiaro, *The Galileo Affair: A Documentary History* (University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1989).
- [21] P.K. Feyerabend, *Contra o Método* (Editora da Unesp, São Paulo, 2007).
- [22] G. Galilei, *Diálogo Sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano* (Associação Filosófica Scientiae Studia: Editora 34, São Paulo, 2011).
- [23] P.K. Feyerabend, *A Ciência em uma Sociedade Livre* (Editora da Unesp, São Paulo, 2011).
- [24] G. Galilei, *O Ensaeador*. (Abril Cultural, São Paulo, 1983).
- [25] S. Drake, *Galileo at Work. His Scientific Biography* (University of Chicago Press, Chicago, 2011).
- [26] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa em Revista* **1**, 43 (2011).
- [27] R.A. Martins, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 113 (2001).
- [28] J.H. Brooke, in: *Companion to the History of Science*, organizado por R. Olby et al. (Routledge, London, 1990).

Um tema negligenciado em textos de física geral: A vaporização da água



.....
Fernando Lang da Silveira

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

Introdução

Adúvida expressa a seguir, respondida no setor Pergunte ao Centro de Referência para o Ensino de Física¹ (CREF) do IF-UFRGS, é recorrente:

Sabemos que à pressão atmosférica, a água vaporiza na temperatura de 100 graus centígrados. Então por que a água da superfície de um lago vaporiza se está à temperatura ambiente? Grato! [1]

Esta dúvida tem sido reiterada nos últimos três anos, aparecendo em diversos outros questionamentos dirigidos ao sítio do CREF. A recorrência também está evidente no fato de que somente esta postagem conta já com mais de nove mil acessos. No momento em que este artigo estava sendo redigido, mais uma vez ela apareceu, desta vez expressa por um estudante de física da UFPE:

A água muda do estado líquido para o gasoso a 100 °C. Essa mudança pode ser por evaporação, ebulição ou calefação, certo? (supondo pressão constante). Mas quando a água de uma barragem, ou da roupa em um varal, evapora, eles não estão a 100 °C. Como isso se explica?

O perguntante, após a leitura da antiga postagem acima referida, agradeceu dizendo: “Obrigado! Meus conceitos é que estavam errados. Risos.”.

A razão de tal dúvida talvez se deva ao fato de que a vaporização da água (e de outras substâncias) é tratada de ma-

neira inadequada em livros texto de física, sejam de Ensino Médio, sejam de ensino superior, quando reduzem a passagem do estado líquido para o estado gasoso exclusivamente ao particular processo de ebulição.

É bem sabido que a vaporização, passagem da água do estado líquido para o estado gasoso (vapor), pode se dar por evaporação e por ebulição [2,3]. A evaporação acontece exclusivamente na interface do líquido com o gás externo (usualmente ar) e ocorre na temperatura ambiente desde que o ar não esteja saturado de vapor de água, isto é, que a umidade relativa do ar seja inferior a 100% [2,4]. A evaporação pode se dar em qualquer temperatura e por ser um efeito de superfície, depende da área de interface do líquido com o ar, acontecendo mais rapidamente conforme a temperatura se eleva e se houver correntes de ar sobre a superfície.

A ebulição se caracteriza pela formação de bolhas de vapor no interior do líquido. A condição para tal é que a pressão de vapor saturado seja no mínimo igual à pressão total na região onde as bolhas ocorrem.

Um bem conhecido texto utilizado em disciplinas de física geral na universidade [5] é completamente omissivo em relação ao processo de evaporação. Em outros conhecidos livros-texto de Ensino Médio e ensino superior, excelentes em muitos aspectos, encontramos as seguintes afirmações equivocadas:

Toda a mudança de fase ocorre a determinada temperatura, para determinada pressão, independentemente do sentido

A evaporação pode se dar em qualquer temperatura e por ser um efeito de superfície, depende da área de interface do líquido com o ar. A ebulição se caracteriza pela formação de bolhas de vapor no interior do líquido

O tema da vaporização, especialmente a evaporação, tem sido abordado de forma negligente em muitos textos de física geral. Curvas reais de aquecimento da água, obtidas experimentalmente, são apresentadas e confrontadas com aquelas encontradas na literatura e em materiais da internet. Evidências de sublimação do gelo também são apresentadas.

da transformação. Assim, à pressão atmosférica normal, a água se solidifica (ou o gelo se funde) a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e se vaporiza (ou se liquefaz) a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. [6] (grifo nosso)

A temperatura em que um líquido evapora e se transforma em gás é o ponto de ebulição. [7]

Desta forma os dois textos afirmam peremptoriamente que a mudança do estado líquido para o gasoso ocorre somente por ebulição. Parecem desconhecer a possibilidade de vaporização em temperaturas inferiores a do ponto de ebulição, isto é, por evaporação. Em ambos os textos são apresentadas as curvas de aquecimento da água a 1 atm, semelhantes ao gráfico da Fig. 1, isto é, o gráfico da temperatura da água em função da energia a ela fornecida, indicando explicitamente que a vaporização acontece apenas no trecho DE. Em outro livro-texto de Ensino Médio [8], apesar de discutir a evaporação, também apresenta uma curva de aquecimento para a água com a indicação de que o vapor acontece apenas no trecho DF.

Uma pesquisa na Internet leva a muitas referências, inclusive em vídeo-aulas, onde se encontram a afirmação explícita de que, abaixo do ponto de ebulição, existem apenas o estado líquido e o estado sólido [9-12].

O verbete da Wikipédia sobre calor latente em português apresenta uma curva para a água semelhante à da Fig. 1 [13], indicando a existência de vapor somente a partir de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Entretanto, no eixo das abscissas, ao invés de expressar a energia trocada com a substância, encontra-se como variável independente o tempo. Não há qualquer referência no texto sobre ser ou não constante a taxa de transferência de energia.

Portanto, fica bem caracterizado que o tema da vaporização tem sido tratado em muitos textos de física de forma no

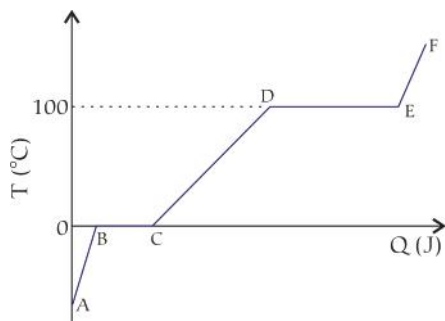


Figura 1: Curva de aquecimento da água.

mínimo negligente.

O objetivo deste artigo é o de apresentar evidências experimentais sobre o negligenciado tema da evaporação da água em curvas de aquecimento. Também serão apresentadas evidências de vaporização de água no estado sólido, isto é, de sublimação do gelo.

Experimentos de aquecimento da água

Uma lata de refrigerante com a parte superior aberta, colocada em um recipiente de isopor apropriado para a lata, foi usada como calorímetro. Na lata adicionou-se 290 g de água na temperatura ambiente (aproximadamente $16\text{ }^{\circ}\text{C}$). Com auxílio de um aquecedor elétrico, alimentado por um transformador variável (variac), de um amperímetro e de um voltímetro conectados ao aquecedor, de um termômetro digital, de um cronômetro e de uma balança, foram realizadas as medidas necessárias à construção de curvas de aquecimento da água.

Alimentando o aquecedor com o variac e determinando com auxílio do voltímetro e do amperímetro as medidas de tensão e corrente, respectivamente, pode-se estimar a potência elétrica dissipada pelo aquecedor em contato com a água. Cinco diferentes potências foram utilizadas.

Para cada potência de aquecimento mediu-se, em intervalos de tempo de um ou dois minutos, a temperatura da água no calorímetro. Antes de se iniciar e ao final do aquecimento, a massa total do calorímetro sem o aquecedor foi medida com o objetivo de verificar a perda de massa do líquido por evaporação.

A partir da potência elétrica e do intervalo de tempo em que esta potência se desenvolveu, pode-se obter facilmente a energia elétrica dissipada no aquecedor e transferida ao conteúdo do calorímetro. A esta energia está associada a temperatura registrada pelo termômetro no interior do calorímetro, registrada no eixo das ordenadas do gráfico apresentado na Fig. 2, em função da respectiva energia transferida ao calorímetro, para cinco diferentes potências. A linha contínua representa a temperatura do conteúdo do calorímetro calculada sob a suposição de que toda a energia transferida aqueça o conteúdo do calorímetro, sem perdas de energia para o entorno e sem evaporação. As massas evaporadas desde o início do aquecimento até o final também estão indicadas na figura.

Observa-se na Fig. 2 que, conforme diminui a potência do aquecedor, além de aumentar a massa evaporada, maiores são as diferenças entre os valores preditos pe-

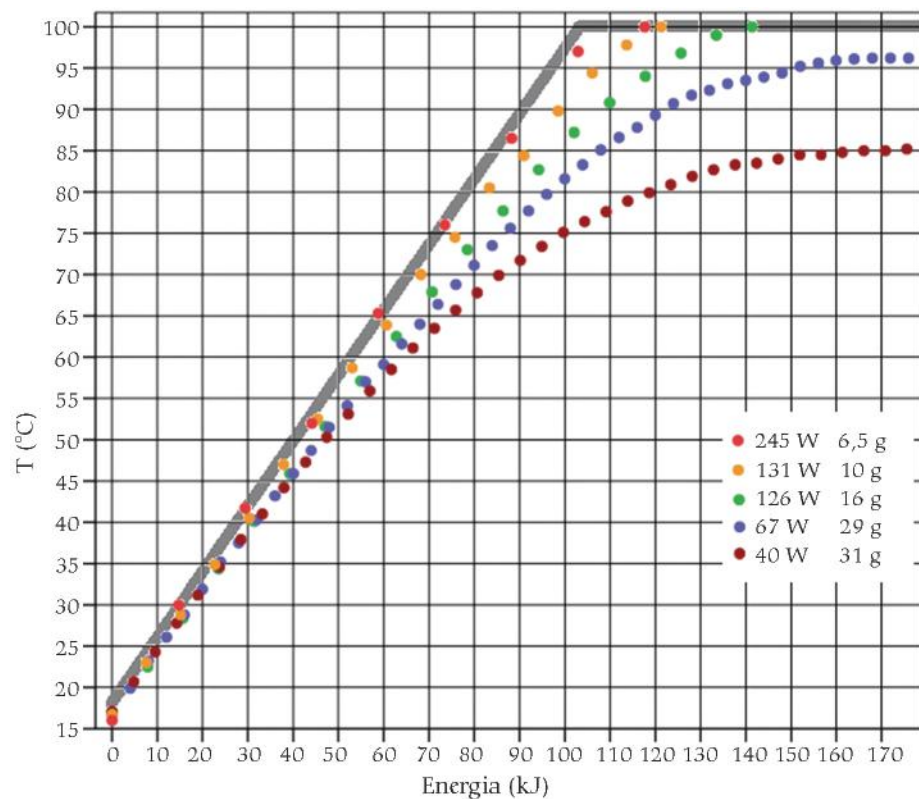


Figura 2: Curvas de aquecimento do conteúdo do calorímetro em função da energia elétrica dissipada no aquecedor, para cinco diferentes potências.

la linha contínua e os valores experimentais. O intervalo de tempo total em que o aquecedor esteve ligado é diferente para as diferentes potências, sendo em ordem decrescente da potência respectivamente 8 min, 16 min, 18 min, 44 min e 80 min. Nota-se também que, para as duas potências mais baixas, a temperatura se estabilizou em valores inferiores à do ponto de ebulição da água (96 °C e 85 °C), por causa das perdas de energia para o entorno, principalmente por evaporação.

Se toda a energia introduzida no calorímetro houvesse sido utilizada para elevar a temperatura da água até o seu ponto de ebulição, conforme está indicado pela linha contínua na Fig. 2, seriam necessários aproximadamente 102,6 kJ. De fato foram necessários para atingir 100 °C com as três maiores potências no aquecedor, 117,7 kJ, 121,3 kJ e 141,3 kJ respectivamente. A diferença entre a energia efetivamente necessária para levar o conteúdo do calorímetro à temperatura de ebulição da água e a energia de 102,6 kJ é em sua maior parte atribuída às perdas por evaporação conforme discute-se a seguir.

O calor de vaporização da água entre 16 °C e 100 °C é variável, situando-se respectivamente entre 2,45 kJ/g e 2,26 kJ/g [14]. Calculando a energia demandada para evaporar as massas de água nos três processos mais potentes, e usando-se como calor de vaporização o valor de 2,3 kJ/g, encontra-se respectivamente para as massas de 6,5 g, 10 g e 16 g, respectivamente, as energias 15 kJ, 23 kJ e 37 kJ. Ou seja, nos três casos esta quantidade de energia para evaporar explica a necessidade de um maior aporte energético do que o previsto pelo modelo usual, que desconsidera a evaporação, supondo erroneamente que a vaporização da água ocorra apenas por ebulição. É importante notar que, assim que a temperatura atingiu 100 °C, o aquecedor foi desligado e consequentemente a vaporização da água nos três casos aconteceu principalmente em temperaturas inferiores à do ponto de ebulição.

Nos dois processos de aquecimento que levaram a temperatura a se estabilizar em valores inferiores à do ponto de ebulição, as demandas energéticas apenas para evaporar a água foram maiores ainda (66,7 kJ e 71,3 kJ), perfazendo em ambos os casos 38% da energia total liberada pelo aquecedor.

Desta forma, fica evidente que a vaporização da água não somente acontece

em temperaturas inferiores à do ponto de ebulição (se assim não fosse, as roupas molhadas jamais secariam quando penduradas em um varal) como também as demandas energéticas devido à evaporação podem ser importantes, acarretando inclusive que a temperatura de ebulição não seja atingida apesar do aporte energético do aquecedor.

Evidências de vaporização do gelo

Gelo vaporiza! Isto é, gelo sublima! Uma evidência de que a água sólida sublima é encontrada em bandejas de gelo, em *freezers* que operam em temperaturas inferiores ao do ponto de solidificação da água. A Fig. 3 representa a massa de água em uma bandeja de gelo em um *freezer* na temperatura de aproximadamente -18 °C,

Gelo sublima. Uma evidência de que a água sólida sublima é encontrada em bandejas de gelo, em *freezers* que operam em temperaturas inferiores ao do ponto de solidificação da água

ao longo de pouco mais de 5 meses de observação. Inicialmente foi colocada na bandeja cerca de 390 g de água. Em poucas horas ocorreu o congelamento e depois, de tempos em tempos, a

bandeja era rapidamente retirada do *freezer* para a medida de sua massa. Desta forma pode-se acompanhar a lenta perda de

massa na bandeja, constatando-se que em 158 dias não mais restava gelo no recipiente. Outro experimento sobre a vaporização do gelo se encontra na postagem *É verdade que gelo vaporiza?* [15].

Outra evidência da sublimação do gelo é encontrada em embalagens hermeticamente fechadas em um *freezer*. Em um pote com tampa hermética foi colocada no *freezer* uma certa porção de carne moída e cozida. Algumas horas depois, o pote foi retirado do *freezer*, removida a tampa e realizada a foto 1 da Fig. 4. Toda a massa de alimento no pote já estava sólida na temperatura de cerca de -18 °C, conforme se pode perceber na fotografia. O pote foi fechado hermeticamente e por precaução ainda colocado em um saco plástico lacrado.

Cerca de dois meses se passaram para a realização da foto 2 da Fig. 4. Conforme se observa, apareceu junto à parte interna da tampa do pote uma camada de gelo. Dado que o pote se encontrava hermeticamente fechado, este gelo se originou por sublimação da água do alimento, após o congelamento, e posterior cristalização na tampa.

Conclusão

A vaporização da água é, por razões óbvias, um assunto com inúmeras apli-

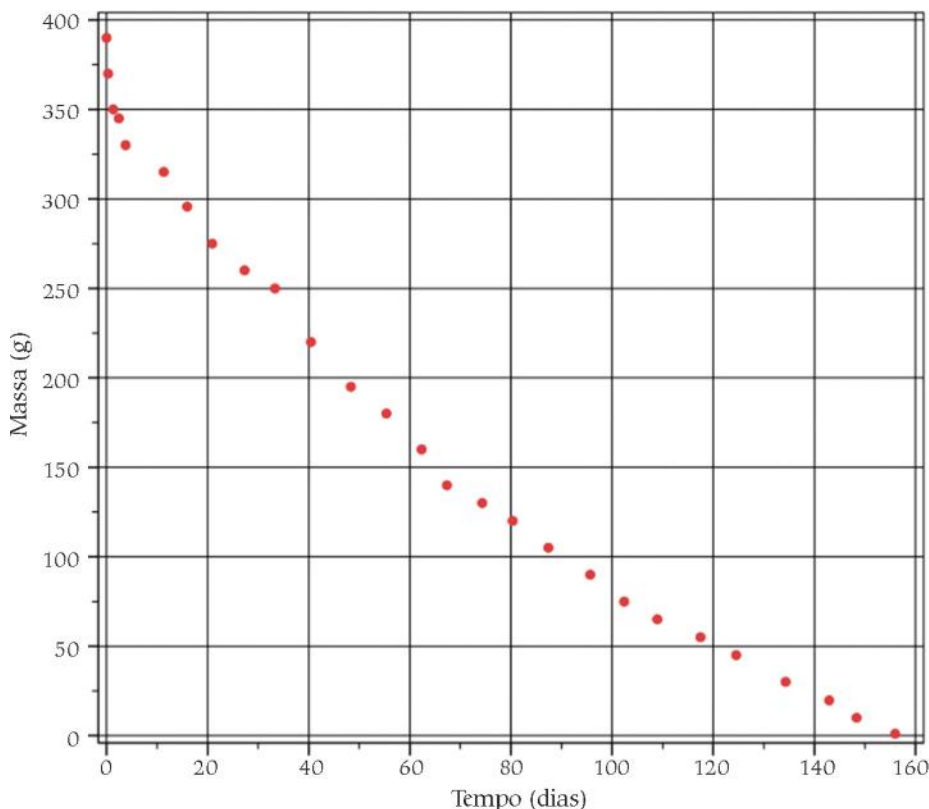


Figura 3: Massa de gelo em uma bandeja em um *freezer* ao longo de 158 dias.

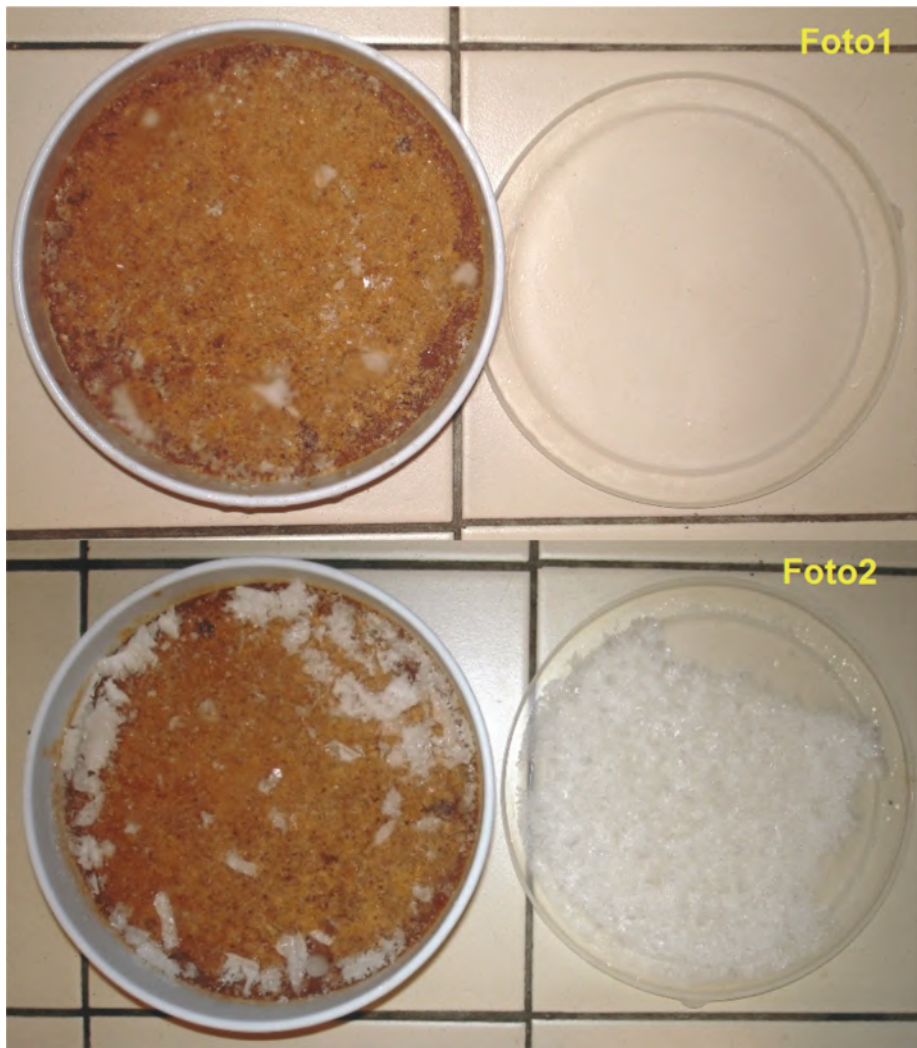


Figura 4: Aparência do interior de um pote com alimento congelado, algumas horas após o congelamento e dois meses depois.

cações práticas. O desleixo com o qual o tema tem sido abordado em muitos textos de física geral, inclusive em livros que sob outros aspectos são muito bons, talvez explique as dificuldades que reiteradamente são apresentadas no CREF em relação à vaporização. As dúvidas sobre o tema manifestadas por professores são muitas; à guisa de exemplo indica-se especialmente a postagem com o título de *Sobre água no ar*² [16].

Qualquer texto que aborde a vaporização não deve cometer o equívoco de reduzir tal processo à ebulição, como costuma acontecer. Mesmo que a evaporação não seja tratada em detalhes, é obrigatória uma referência a este processo e no mínimo a sua caracterização macroscópica deve ser feita, bem como uma menção explícita de que ela está sendo desprezada na representação usual de curvas de aquecimento da água. A explicação microscópica, evitada também neste artigo, envolve conhecimentos de termodinâmica usualmente não desenvolvidos em textos de física geral.

Agradecimento

Agradeço à professora Maria Cristina Varriale (IM-UFRGS) pela leitura crítica e sugestões.

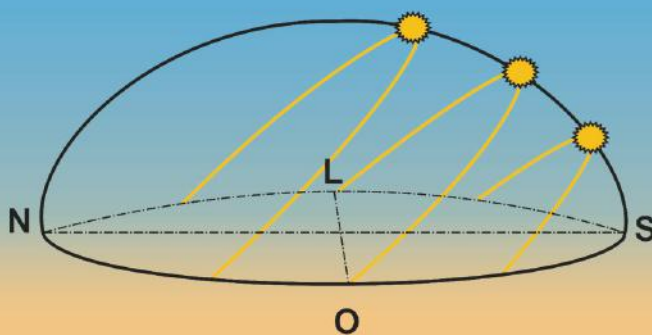
Nota

¹<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=normas>.

Referências

- [1] Termodinâmica: vaporização da água, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=107> (acessado em 18/07/2016).
- [2] A.P. Maiztegui e J.A. Sabato, *Introducción a la Física* (Ed. Kapeluz, Buenos Aires, 1974). Disponível em http://pt.slideshare.net/Zulema_964/maiztegui-sabatointroduccion-a-la-fisica-i, acessado em 18/7/2016.
- [3] Diferencie ebulição de evaporação!, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=261>, acessado em 18/7/2016.
- [4] Umidade relativa: o que é e como se determina, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=711>, acessado em 18/7/2016.
- [5] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física* (LTC, Rio de Janeiro, 2009).
- [6] A. Gaspar, *Compreendendo a Física - Vol. 2* (Attica, São Paulo, 2011), p. 352.
- [7] W. Bauer, G.D. Westfall e H. Dias, *Física para Universitários: Relatividade, Oscilações, Onda e Calor* (AMGH, Porto Alegre, 2013), p. 182.
- [8] M. Pietrocola, A. Pogbin, R. Andrade e T.R. Romero, *Física em Contextos - Vol. 2*. (FTD, São Paulo, 2011), p. 240.
- [9] http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo_legenda/Od2a577d0f90b8b05dc0738a70d930ad.jpg, acessado em 18/7/2016.
- [10] <http://emuc2014.blogspot.com.br/2014/02/graficos-mudanca-de-estado-fisico.html>, acessado em 18/7/2016.
- [11] https://www.youtube.com/watch?v=Yk8ZMi5_ZPk, acessado em 18/7/2016.
- [12] <https://www.youtube.com/watch?v=FFdCotqzA-Y>, acessado em 18/7/2016.
- [13] https://pt.wikipedia.org/wiki/Calor_latente#/media/File:MFJ2.JPG, acessado em 18/7/2016.
- [14] N.I. Kochkin e M.G. Chirkévitch, *Prontuário de Física Elementar* (MIR, Moscou, 1982).
- [15] É verdade que gelo vaporiza?, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1624>, acessado em 18/7/2016.
- [16] Sobre a água no ar, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1597>, acessado em 18/7/2016.

Posição do nascer do Sol no horizonte



Paulo Bedaque

Grupo de Estudos em Epistemologia e Didática, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
E-mail: bedaque@ciencias.com.br

Paulo Sergio Bretones

Departamento de Metodologia e Ensino, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
E-mail: bretones@ufscar.br

Introdução

Muitas pessoas acreditam que o Sol nasce no ponto cardinal leste e se põe no ponto cardinal oeste todos os dias do ano em qualquer latitude. Ocorre que a maioria das pessoas vive em cidades e perdeu o costume de observar os fenômenos celestes. No que se refere ao movimento do Sol, seu nascer e ocaso, as concepções das pessoas já foram pesquisadas por vários autores [1-3].

Conforme mencionado na Ref. [4], a concepção de crianças e adultos de que “o Sol sempre nasce no leste e se põe sempre no oeste” ocorre porque muitos professores se apoiam nesta ideia. Para isto, os autores propõem observações dos fenômenos para vários locais e épocas do ano. A questão pode ser trabalhada na escola, em especial na disciplina de física, mas também em geografia ou mesmo em ciências nos últimos anos do Ensino Fundamental.

A esfera celeste

Ao observarmos o céu, temos a sensação de estar no centro de uma esfera na qual estariam os planetas, as estrelas, a Lua, o Sol e todos os outros astros. Chamamos de esfera celeste a essa esfera imaginária, de raio escolhido arbitrariamente como sendo 1.

Para localizar um astro na esfera celeste são adotados sistemas de coordenadas e destacamos dois: sistema horizontal e sistema equatorial. O sistema horizontal, também chamado de sistema alta-azimutal, usa as coordenadas altura (h) e azimute (A) (Fig. 1). A altura h de um astro é a medida angular do ponto ocupado pela estrela na esfera celeste ao horizonte do observador e varia entre -90° e 90° . Para pontos acima

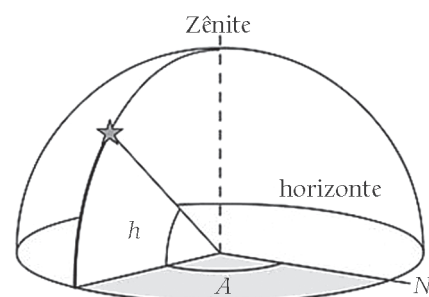


Figura 1: Sistema Horizontal de Coordenadas Celestes (Fonte: Ref. [5]).

do horizonte a altura é positiva (0° a 90°) e negativa para pontos abaixo do horizonte (não visíveis). O ponto de altura 90° é chamado de Zênite, que está acima da cabeça do observador. A outra coordenada horizontal é o azimute A . Ele é medido em graus sobre o horizonte, a partir do ponto cardinal norte, no sentido horário (N-L-S-O), como mostra a figura. Com o passar das horas, as coordenadas altura e azimute de um astro mudam. Por outro lado, o sistema equatorial de coordenadas astronômicas utiliza as coordenadas declinação (δ) e ascensão reta (α) (Fig. 2). Para entender esse sistema, precisamos antes definir o que são equador celeste, eclíptica e eixo do mundo.

Considere o eixo da rotação da Terra. Se ele for prolongado dos dois lados, até encontrar a esfera celeste, temos um novo eixo chamado eixo do mundo. Os pontos de interseção do eixo do

mundo com a esfera celeste são chamados de polo celeste sul e polo celeste norte. Já o equador terrestre, projetado sobre a esfera celeste, gera um novo círculo, chamado de equador celeste. Ele divide a esfera celeste em dois hemisférios, o hemisfério celeste sul e o hemisfério celeste norte.

Em geral as pessoas trazem a informação de que o Sol nasce sempre no ponto cardinal leste e se põe no oeste. Ocorre que a maioria das pessoas vive em cidades e perdeu o costume de observar os fenômenos celestes

Em geral as pessoas trazem a informação de que o Sol nasce sempre no ponto cardinal leste e se põe no oeste. Para abordar esta questão são apresentados conceitos relacionados à esfera celeste e seu movimento diário, bem como o movimento aparente do Sol para observadores de várias latitudes. Apresentamos uma expressão que permite calcular a posição do nascer do Sol ao longo do ano em função da latitude do observador e a aplicamos para vários casos. Finalmente são apresentados modelos e outros recursos didáticos que permitem abordar tais conteúdos em sala de aula. Nota: Este artigo é uma versão resumida do artigo Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude publicado na Revista Brasileira de Ensino Física **38**, e3307 (2016).

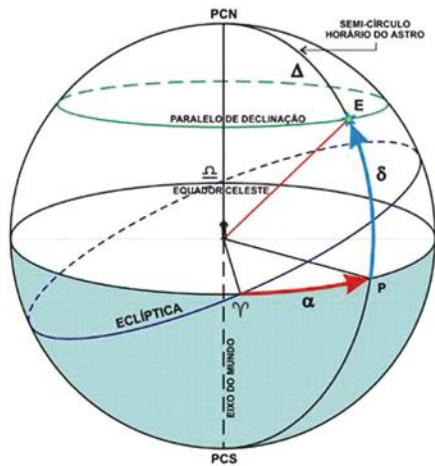


Figura 2: Sistema Equatorial de Coordenadas Celestes (Fonte: Ref. [6]).

A eclíptica corresponde à projeção na esfera celeste da trajetória da Terra em seu movimento de translação ao redor do Sol. O eixo da Terra não é perpendicular ao plano de sua órbita ao redor do Sol. Assim, o equador celeste está inclinado em relação à eclíptica e esta inclinação é de $23,5^\circ$, como pode ser observado na Fig. 2. Desta forma, o equador celeste cruza com a eclíptica em dois pontos indicados como Υ e Ω . O ponto Υ é chamado de Ponto Vernal (ou Ponto Gama).

Chama-se declinação δ de um astro a sua distância angular (em graus) do equador celeste. Ela varia de -90° a 90° ; as declinações são negativas para pontos do hemisfério celeste sul e positivas para aqueles do hemisfério celeste norte. Chama-se ascensão reta α a distância angular medida sobre o equador celeste e contada a partir do ponto Υ . Seu valor costuma ser medido em horas, variando de 0 h a 24 h. A vantagem do sistema equatorial sobre o sistema horizontal é que o primeiro utiliza coordenadas que independem da hora do dia e da posição do observador na superfície da Terra.

Movimento diário da esfera celeste

Quando a Terra é tomada como sis-

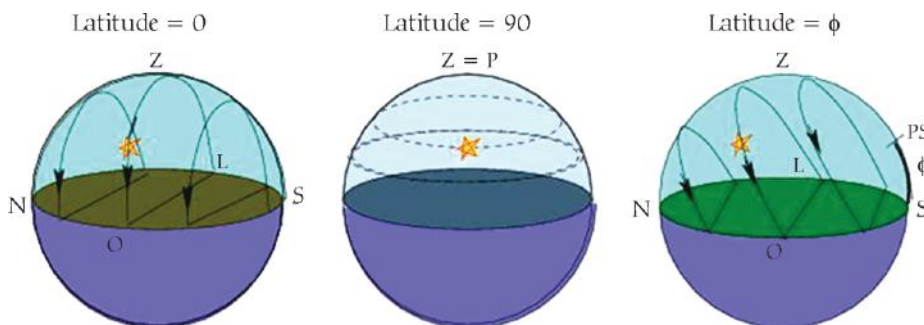


Figura 3: Movimento diário da esfera celeste para várias latitudes (Fonte: Ref. [7]).

tema de referência, temos que a esfera celeste se move de leste para oeste.

Assim, os astros nascem no leste e se põem no oeste. As chamadas estrelas circumpolares são aquelas, para observadores de uma certa latitude, que estão sempre acima do horizonte, não nascem e nem se põem e estão próximas de um dos polos celestes.

A percepção do movimento diário da esfera celeste é diferente conforme a posição do observador na Terra. Podemos considerar três situações básicas. Primeira para um observador no equador terrestre (Fig. 3a). Como a Terra gira ao redor de seu eixo, neste caso sobre o horizonte, o movimento dos astros se dá em círculos perpendiculares ao plano do horizonte. O próprio plano do equador celeste é perpendicular ao plano do horizonte. Os astros nascem, atingem sua altura máxima e se põem, levando praticamente o mesmo tempo abaixo e acima do horizonte. Um observador no equador terrestre pode observar todo o céu e não existem estrelas circumpolares, pois todas nascem e se põem.

Já os observadores que vivem em um dos polos (Fig. 3b), e como o equador terrestre está sobre o horizonte, o movimento da esfera celeste ocorre de modo que os astros descrevam círculos paralelos ao horizonte. Assim, só se pode observar um dos hemisférios celestes e todas as estrelas são circumpolares.

Mas a situação mais frequente para a maioria das pessoas no mundo não é aquela representada pelas Figs. 3a e 3b e sim a mostrada na Fig. 3c, para observadores localizados em uma determinada latitude ϕ diferente de 0° e de 90° . Nessa situação, o equador celeste se apresenta com certa inclinação em relação ao plano do horizonte e todos os astros descrevem arcos inclinados no céu.

Movimento anual do Sol na esfera celeste

A Terra descreve uma órbita ao redor

do Sol, completando uma volta aproximadamente a cada 365,25 dias ou, ou seja, a cada 1 ano.

A inclinação do equador celeste em relação à eclíptica, juntamente com o movimento de translação da Terra, é que explica que o Sol nasce em diferentes pontos do horizonte ao longo do ano. Uma maneira de perceber isso é usar algum referencial, como um poste, uma árvore ou mesmo uma janela. Observando-se o nascer do Sol sempre do mesmo ponto, poderemos perceber que ele nasce em pontos diferentes do horizonte ao longo do ano (Fig. 4).

Para observadores do hemisfério sul da Terra, após o início da primavera e no verão, o Sol nasce à esquerda do leste, mais ao norte e após o início do outono e no inverno, à direita do leste, mais ao sul.

Afinal, onde nasce o Sol?

O Sol se move ao longo da eclíptica durante o ano e cruza o equador celeste em duas ocasiões (Fig. 5). Essas datas coincidem com os inícios da primavera e do outono. Por causa desse movimento, a

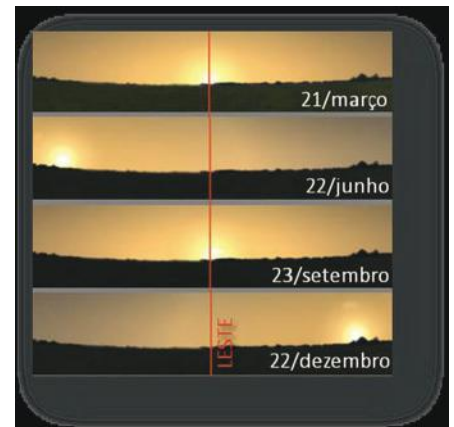


Figura 4: Variação da posição onde o Sol nasce ao longo do ano (Fonte: Ref. [8]).

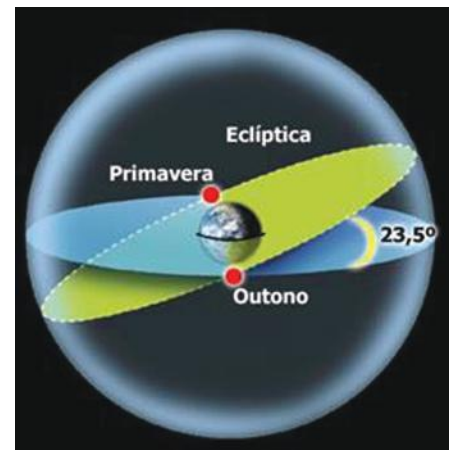


Figura 5: Inclinação da eclíptica em relação ao equador celeste (Fonte: Ref. [9]).

declinação do Sol (afastamento com relação ao Equador) varia entre $-23,5^\circ$ a $23,5^\circ$, aproximadamente. As declinações negativas indicam que o Sol está no hemisfério celeste Sul enquanto as positivas indicam que ele se encontra no hemisfério celeste norte.

Essa variação de declinação ao longo do ano é que resulta em diferentes trajetórias do Sol, para cada observador, ao longo do dia. Para um observador em uma latitude intermediária (Fig. 3a), todos os astros descrevem arcos inclinados no céu.

Pela Fig. 6 notamos que, quando a declinação do Sol é $-23,5^\circ$, sua trajetória naquele dia será a indicada pelo arco mais à direita. Quando sua declinação é zero (quando está sobre o equador celeste), ele descreverá o arco do meio. O arco mais à esquerda corresponde à declinação $+23,5^\circ$. Os pontos onde o equador celeste cruza o horizonte são os pontos cardeais leste e oeste. Por esta figura já se pode observar que o ponto de nascer do Sol varia bastante ao longo do ano. No início do verão no hemisfério sul, o Sol nasce bem à direita do leste. Já no início do inverno, nasce bem à esquerda do leste. Para um observador sobre equador terrestre, o Sol também nasce nos pontos mais extremos, à direita ou a esquerda do leste. Já para observadores nos polos, onde o equador coincide com o horizonte, ora o Sol está acima, ora está abaixo dele. Desta forma, para este observador, o dia terá duração de seis meses seguido de uma noite de mesma duração.

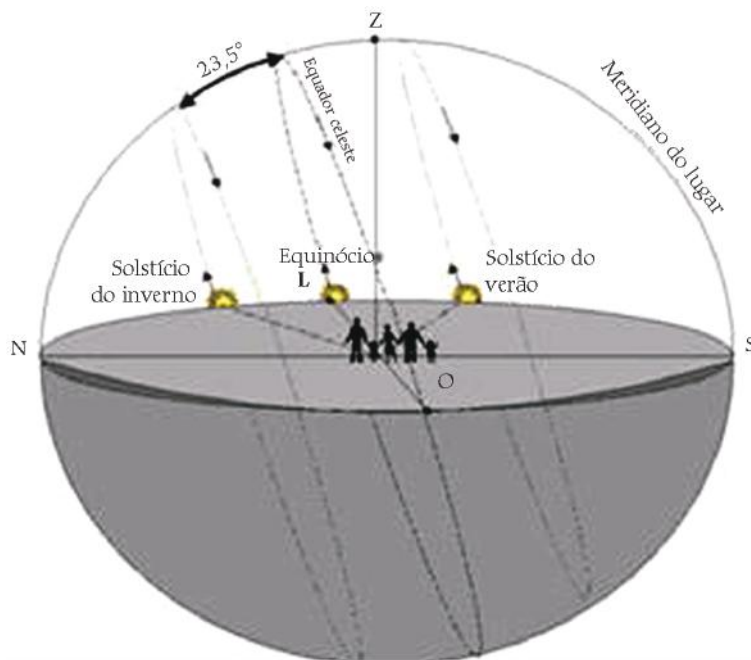


Figura 6: Movimento do Sol, nascendo em diferentes posições, nas diferentes estações do ano, para uma latitude intermediária (Fonte: Ref. [10]).

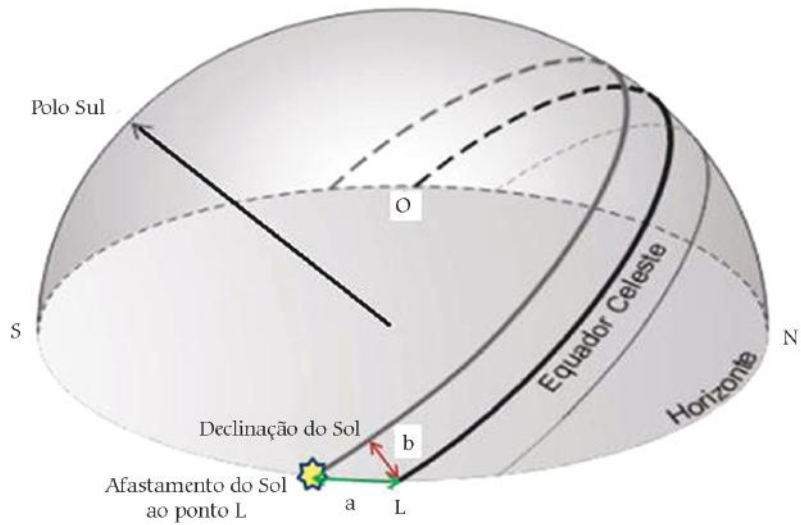


Figura 7: Posição do nascer do Sol mostrando o afastamento angular (a) em função da declinação (b).

Calculando a variação da posição do nascer do Sol

Pela Fig. 7, nota-se que a amplitude de variação da declinação do Sol é 47° , o que não corresponde necessariamente à amplitude da variação da posição do nascer do Sol no horizonte. A variação angular depende da latitude do observador e pode ser muito maior que 47° . Como exemplo, para um observador localizado na latitude 60° , o Sol nasce entre pontos extremos no horizonte que “distam” entre si 105° .

Apesar de se tratar de um triângulo esférico, fazendo uma analogia com a

geometria plana, tudo se passa como se a declinação fosse um cateto (b) enquanto o afastamento angular ao ponto Leste fosse uma hipotenusa (a). Assim, o arco **a** será sempre maior ou igual ao arco **b**. Assim, quanto mais inclinado for o equador com relação ao horizonte, o que acontece quanto maior for a latitude, maior será o valor do arco **a** no horizonte.

Para sabermos a declinação do Sol em determinado dia, podemos calcular

$$\delta = -23,44 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot (T + 10)\right) \quad (1)$$

onde T = número do dia do ano ($0 \leq T \leq 365$).

Na Fig. 8 mostramos o gráfico no qual se pode estimar a declinação do Sol para cada dia. Nota-se que o maior valor da declinação ($23,45^\circ$) ocorre por volta dia 21 de junho, que corresponde à data do solstício (verão no norte e inverno no sul).

Já o azimute do Sol no instante de seu nascimento, pode ser encontrado pela expressão

$$A = \arccos(-\sin\delta/\cos\phi) \quad (2)$$

onde δ = declinação do Sol e ϕ = latitude local.

Como exemplo, vejamos o caso da cidade de São Paulo, cuja latitude é de aproximadamente $23,5^\circ$. No solstício do verão no hemisfério Sul, em 22 de dezembro, a declinação do Sol vale $\delta = -23,45^\circ$. Assim, o azimute do Sol neste dia será $A_1 = \arccos[-\sin(-23,45^\circ)/\cos(23,5^\circ)] = 64,3^\circ$. Para o dia do solstício de inverno, 21 de junho, para S. Paulo, encontramos $A_2 = 115,7^\circ$. A diferença entre esses azimutes corresponde à amplitude entre os pontos extremos de nascer do Sol no horizonte. Neste caso, o valor é de $A_2 -$

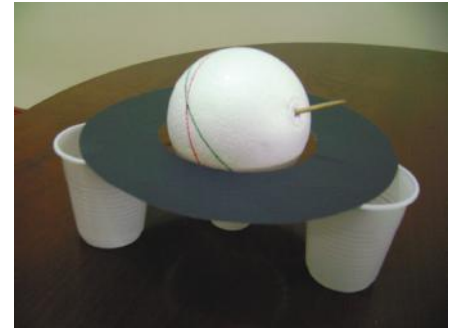
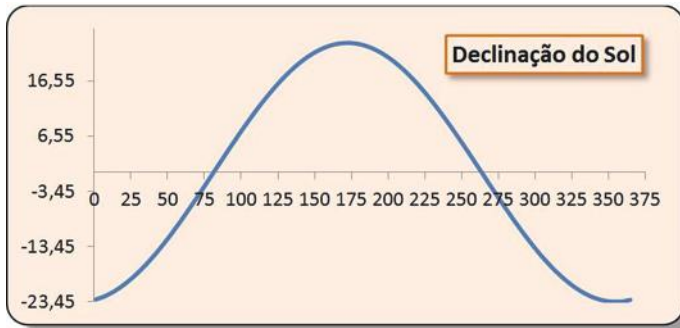


Figura 10: Modelo de isopor para a esfera celeste. Fonte: Fotos de Paulo S. Bretones.

Figura 8: Gráfico mostrando a variação da declinação do Sol ao longo do ano.

$A_1 = 51,4^\circ$. Isso mostra que o Sol não nasce sempre no Leste e que essas amplitudes não se limitam ao valor de 47° como muitos pensam. A Tabela 1 mostra essas amplitudes calculadas para outros pontos.

A Fig. 9 apresenta a variação dessas amplitudes em função da latitude do observador.

Modelos didáticos

Um modelo simples, conforme proposto na Ref. [11], que adaptamos, pode ser feito na escola usando-se três copos descartáveis de água e um copinho de café, uma esfera de isopor de aproximadamente 10 cm de diâmetro, um palito de churrasco, um pequeno alfinete e uma coroa circular de cartolina, com raios interno e ex-

terno de aproximadamente 11 cm e 16 cm (Fig. 10). São necessárias ainda duas canetas hidrográficas de cores diferentes. A esfera de isopor fará o papel da esfera celeste e o palito o seu eixo de rotação. Colocado o eixo, deve-se desenhar o equador celeste (em vermelho na foto). Deve-se desenhar a eclíptica em verde, com uma inclinação de $23,45^\circ$. Se posicionarmos a esfera no meio da coroa, podemos simular estar a uma latitude qualquer, por exemplo, 45° . O Sol poderá ser marcado sobre a eclíptica nas posições de solstícios, as mais afastadas do equador (declinações máximas), o que pode ser feito com um alfinete. Primeiramente, vamos supor que o Sol esteja na máxima declinação norte. Se for girada a esfera, pode-se simular o instante em que o Sol

nasce. Esta posição pode ser marcada na cartolina, que faz o papel de horizonte do observador. Supondo agora o Sol no ponto de máxima declinação sul, também podemos marcar a posição de seu nascimento no horizonte. Com essas duas posições marcadas, pode-se notar a amplitude do nascer do Sol para aquela latitude.

Um modelo clássico foi proposto na Ref. [12] usando um balão de vidro. Nele se desenha a eclíptica e o equador celeste enquanto o horizonte é representado pela superfície da água, colocada no balão (Fig. 11).

A Ref. [13] propõe um modelo onde são usados arcos de arame para representar o meridiano local e o equador celeste. Para posicionar o equador celeste são usadas fotografias do nascer e do pôr do Sol no início da primavera ou do outono, obtendo-se a exata posição dos pontos cardiais leste e oeste. O mesmo se faz nos dias de solstícios e são fixados outros dois arames paralelos ao equador, onde se pode formar a área de movimentação do Sol durante o ano. Alguns desses modelos podem ser feitos em escala onde se permita que um aluno ocupe o seu interior para melhor visualização dos elementos da esfera celeste (Fig. 12).

Outro recurso didático que pode ser usado está na página da Universidade de Nebraska [14]. Trata-se de um simulador dos movimentos do Sol onde se pode fixar, em uma determinada data, a latitude do observador e com isso observar o movimento do Sol na esfera celeste. Escolhemos como exemplo o dia 21 de junho e a latitude de -30° . A tela está mostrada na Fig. 13, com o nascer do Sol aproximadamente às 7:00 h da manhã. Note que o Sol está nascendo à esquerda do leste, pois em junho no hemisfério sul é inverno. Se clicarmos no botão *start animation*, podemos observar o movimento diário do Sol nesta data e local. Sugerimos uma visita à página para testar outros dias e latitudes.

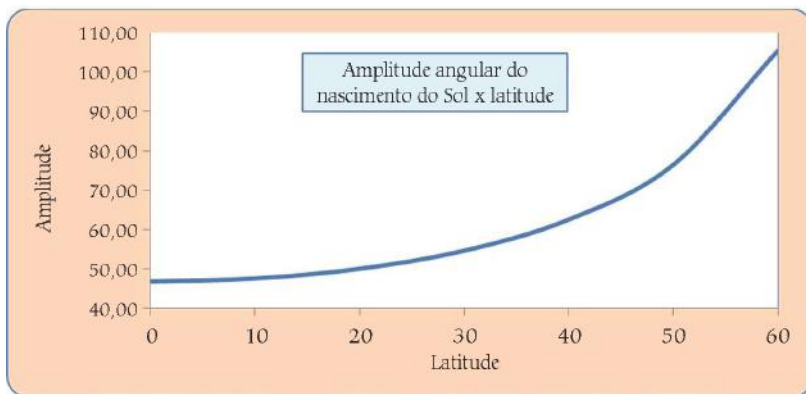


Figura 9: Gráfico mostrando a variação da Amplitude angular dos pontos de nascimento do Sol, em função da latitude do observador.

Tabela 1: Exemplos de cidades, com diferentes latitudes, mostrando o azimute do nascimento do Sol no solstício de verão, no solstício de inverno e a correspondente amplitude.

Cidade	Latitude	Solstício de Verão	Solstício de Inverno	Amplitude
Macapá	0,0	66,6	113,5	46,9
Fortaleza	-3,7	66,5	113,5	47,0
Salvador	-13,0	65,9	114,1	48,2
Brasília	-15,8	65,6	114,4	48,8
S. Paulo	-23,5	64,3	115,7	51,4
Porto Alegre	-30,0	62,7	117,3	54,6
Londres	51,5	50,3	129,7	79,4
Ushuaia	-54,8	46,4	133,7	87,3
Estocolmo	59,3	38,8	141,2	102,4

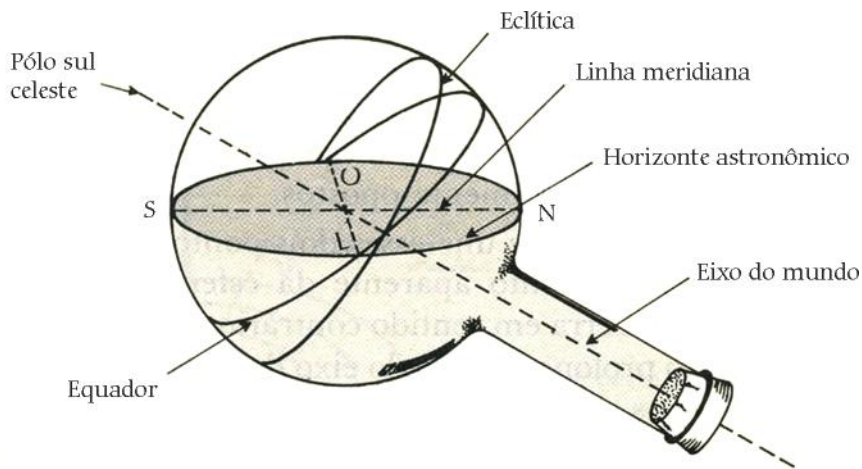


Figura 11: Modelo de esfera celeste com balão de vidro (Fonte: Ref. [12]).

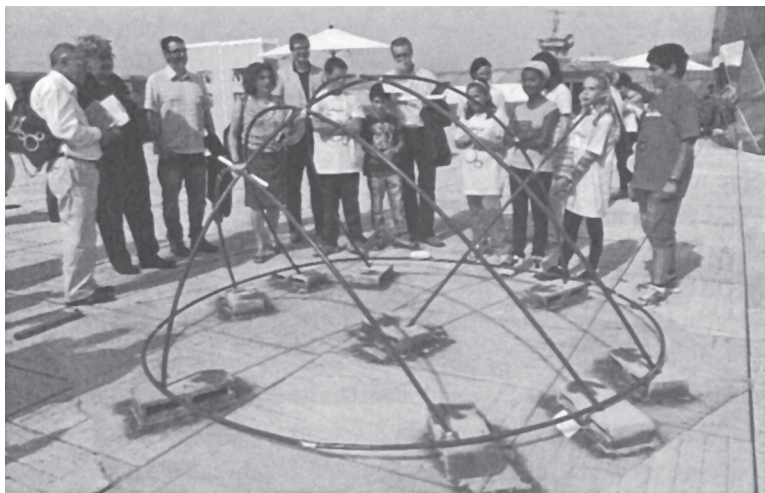


Figura 12: Modelo com arcos representando os elementos da esfera celeste (Fonte: Ref. [13]).

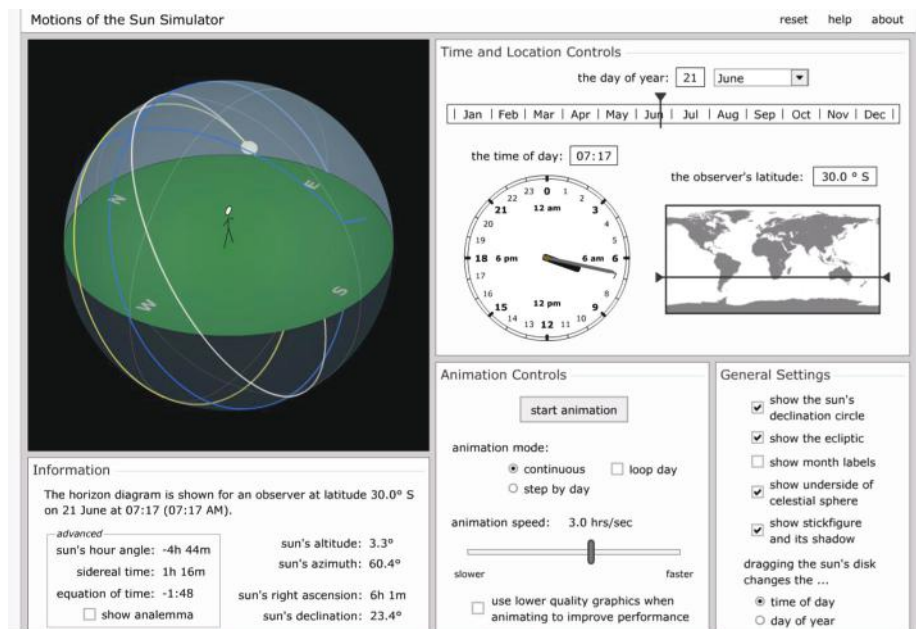


Figura 13: Página referente ao simulador dos movimentos do Sol disponibilizada pela Universidade de Nebraska (Fonte: Ref. [14]).

Conclusão

Os resultados de pesquisas mostram que existem concepções erradas sobre os pontos onde o Sol nasce e se põe no horizonte. Este artigo propôs o uso de elementos da esfera celeste, com o uso da trigonometria esférica e recursos didáticos ao alcance de alunos e professores. O artigo não pretende esgotar o assunto e esperamos que tais recursos sejam usados nas escolas gerando novos trabalhos e experiências. Com isso podem ser desenvolvidos outros estudos, baseados na realidade do nosso país, sobre as concepções dos alunos, outros recursos didáticos e a metodologia de ensino de tais conteúdos.

Referências

- [1] B.M. Sebastião, Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia **1**, 7 (2004).
- [2] R. Langhi e R. Nardi, Cad. Bras. Ens. Fís. **24**, 87 (2007).
- [3] R. Langhi, Cad. Bras. Ens. Fís. **28**, 373 (2011).
- [4] N. Camino y R.M. Ros, Educación en Ciencias **1**, x11 (1997).
- [5] Documentação disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_horizontal_de_coordenadas
- [6] Documentação disponível em http://www.uranometrianova.pro.br/cursos/astronomia_esferica01/esferica1060.htm, consultada em 23/11/2015.
- [7] Documentação disponível em www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/mov_apar_astro.htm, consultada em 23/11/2015.
- [8] Documentação disponível em http://fiscamoderna.blog.uol.com.br/arch2009-12-20_2009-12-26.html, consultada em 23/11/2015.
- [9] Documentação disponível em http://revistagalileu.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/0,3916,900784-1941-2,00.html, consultada em 23/11/2015.
- [10] Documentação disponível em http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/dia_a_dia/1_5_2.htm, consultada em 23/11/2015.
- [11] C.A. Kantor e L.C. Menezes, *Os Astros e o Cosmo* (Escolas Associadas, São Paulo, 2002).
- [12] R. Caniato, *O Céu* (Átomo, Campinas, 2011).
- [13] R.M. Ros, in: *Ensino de Astronomia na Escola: Concepções, Ideias e Práticas*, editado por M.D. Longhini (Átomo, Campinas, 2014), p. 215-236.
- [14] Documentação em: <http://astro.unl.edu/naap/motion3/animations/sunmotions.html>, consultada em 23/11/2015.

A projeção de sombras refletidas no espetáculo de dança *Gravité*: Relato de uma atividade didática

Jair Lúcio Prados Ribeiro

Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil
E-mail: jairlucio@gmail.com

Introdução

Desde 1995, é organizado em Brasília o festival internacional de artes cênicas *Cena Contemporânea*. O evento tem periodicidade anual e não é composto somente de peças de teatro; inclui em sua programação uma variada gama de apresentações musicais, espetáculos de dança, painéis de discussão e oficinas, dentre outras atividades.

A edição de 2015 trouxe à capital o espetáculo de dança '*Gravité - une installation et une chorégraphie pour un corps sur un plan d'eau*', produzido pela companhia L'Expérience Harmaat e idealizado pelo francês Fabrice Lambert. Realizada desde 2007, a peça de curta duração - cerca de vinte minutos - apresenta um conceito minimalista, com um único artista em cena (o próprio Lambert). O palco é composto de uma rasa lâmina plana de água (5 m x 5 m), que funciona como um espelho para a luz emitida por um holofote, disposto acima da plateia e direcionada para a lâmina. Após refletir nessa superfície, a luz é projetada em uma tela vertical branca (*ciclorama*), localizada no fundo do palco.

Durante o espetáculo, o artista se desloca pela lâmina de água, fazendo com que na projeção sejam observadas tanto a sombra do dançarino quanto as ondas geradas na água pelo seu movimento. Quando o artista se dispunha na vertical, a sombra se apresentava dupla na projeção, e com o mesmo deitado sobre a água, sua sombra era simples. As Figs. 1 e 2 apresentam esse momentos da performance.

Cabe frisar que estes dois momentos da peça representam o mesmo fenômeno óptico. A observada "sombra simples", na verdade, também é uma sombra dupla, mas nessa situação as duas sombras estão quase superpostas entre si, gerando o efeito que será discutido mais adiante. Adi-

cionalmente, a projeção das ondas geradas na superfície da água na tela vertical, em particular, pode ser relacionada com experimentos tradicionais de cubas de ondas, recipientes de vidro comuns em laboratórios de física e também na literatura acadêmica [1-2], os quais permitem a projeção de ondas em uma tela, com o auxílio de uma fonte de luz adequada (como os antigos retroprojetores). Cabe ressaltar que apenas a formação das sombras é discutida nesse artigo.

A efemeridade natural de uma peça de teatro poderia tornar uma pesquisa sobre as possibilidades didáticas do espetáculo citado inviável. Entretanto, o próprio artista [3] disponibilizou na internet um vídeo com a peça na íntegra, tornando possível o desenvolvimento de sugestões pedagógicas, em um diálogo entre as artes



Fig. 1: Um instantâneo do espetáculo *Gravité*, com a projeção de uma sombra dupla. Fonte: www.divergence-images.com/wimages/470-470/680864.jpg, acessado em 30/9/2015.

O espetáculo de dança contemporânea *Gravité* apresenta o artista francês Fabrice Lambert se movimentando sobre uma lâmina de água, com a projeção de sua sombra em uma tela vertical no fundo do palco. Quando o artista se encontra deitado sobre a água sua sombra era simples, mas quando ele se dispunha na vertical, a sombra se apresentava dupla. Foi construído um aparato experimental simples, a partir de um espelho plano, para emular alguns aspectos do espetáculo para alunos de Ensino Médio. Em um ambiente de laboratório tradicional, esse experimento foi usado de forma demonstrativa, em conjunto com um vídeo do espetáculo. Acredita-se que a análise da performance foi capaz de ajudar os alunos a significar o papel da arte e da ciência em diferentes contextos sociais, além de permitir o estabelecimento de novas relações interdisciplinares.



Fig. 2: Outra cena do espetáculo 'Gravité', com a projeção de uma sombra simples. Fonte: www.experienceharmaat.com/fr/creations/Entrees200731_Gravite.jpg, acessado em 30/9/2015.

cênicas e a física, em particular os temas da óptica e da ondulatória.

Na literatura acadêmica, é possível encontrar exemplos de estudos acerca do entrelaçamento entre a arte e a ciência, como atividades interdisciplinares envolvendo a física e a literatura [4] ou as letras de música [5], as relações históricas entre a física e a pintura [6] e a ciência e arte como construções culturais de uma época [7]. Oliveira [8], por sua vez, argumenta que a relação entre teatro e ensino de ciências não é recente, fato confirmado por sua revisão da literatura na área e também por um artigo de Guerra e cols. [9], publicado na própria Física na Escola, no qual se avalia o potencial de um julgamento simulado como uma estratégia para se trabalhar a ciência sob um ponto de vista histórico e filosófico. Liberali e Grossemann [9], em sua compilação de artigos sobre as possibilidades da utilização do psicodrama em escolas médicas, perceberam que essa técnica cênica propiciava aos estudantes oportunidades de pensamento crítico, habilidade desejável também em aulas de ciências. Assim, entendemos como desejável que técnicas do teatro [10–11] ou mesmo da dança [12] sejam utilizadas como motivação ou estratégia para a aprendizagem de conteúdos da ciência no

Ainda é tímida a abordagem da dança como um conteúdo programático na educação básica no Brasil. Em parte, tal fato decorre devido à grande desinformação sobre o tema

Ensino Médio ou fundamental. Entretanto, nos artigos consultados, as pesquisas foram desenvolvidas a partir de experiências teatrais realizadas pelos próprios estudantes, ao passo de que nosso artigo analisa um espetáculo profissional.

Acreditamos que a carência de sugestões similares à nossa se deva justamente ao caráter transitório de uma peça de teatro ou espetáculo de dança, tornando desafiadora a discussão com os alunos. Nesse trabalho, essa característica é minimizada pela possibilidade de apresentação do vídeo da interpretação artística para os estudantes, tornando nossa proposta comparável àquelas formuladas por autores que trabalham com o uso do cinema e de seriados de televisão como recursos didáticos em aulas de ciências [14–17].

O presente artigo apresenta algumas possibilidades de discussões e atividades que podem ser realizadas com estudantes sobre o espetáculo, no âmbito da óptica e ondulatória. Após uma exposição teórica, é feito um relato crítico de uma aula sobre esses temas, onde o vídeo foi trabalhado, assim como um modelo experimental sobre o mesmo. Consideramos o grau de profundidade da exposição teórica adequado ao Ensino Médio, momento em que a formalização das teorias acerca do teatro

e dos elementos cênicos costuma ser apresentada aos estudantes nas aulas de artes cênicas, assim como os modelos sobre o comportamento da luz nas aulas de física.

Análise de uma apresentação de dança como estratégia didática

O espetáculo *Gravité* não pode ser encarado como uma apresentação de dança tradicional. Entretanto, classificá-lo como “dança moderna” ou “dança contemporânea” é uma atitude temerária, dado o alerta de Shurr e Yocom [18] sobre a falta de precisão desses termos. Essa ambiguidade se deve ao caráter mutável e adaptável que a dança adquiriu a partir do Século XX, tornando-a comparável a uma “mídia” personalizada, voltada para a expressão e comunicação pelo movimento corporal. Na nossa descrição para os estudantes, contudo, adotamos a descrição “dança contemporânea” em uma interpretação mais fluida, na medida em que a concepção do espetáculo é recente (menos de uma década).

Pode-se entender então a sequência de movimentos do artista em *Gravité* como um conjunto de signos que dialoga com alguns conceitos-chave da física que identificamos na obra: energia, luz, som, ondas, fluido, gravidade e equilíbrio, dentre outros. Embora haja trilha sonora, há grandes períodos de silêncio ao longo da apresentação, principalmente nos momentos onde a projeção das ondas na superfície da água é mais visível. Por vezes, ouve-se apenas o som de um gotejar, acompanhado da projeção das ondas geradas na superfície da água pelos movimentos do corpo do artista. Esse entendimento mais amplo do conceito de coreografia e sua relação com as ondas produzidas já tornaria desejável a discussão sobre temáticas da dança em sala de aula.

Segundo Porpino [19], ainda é tímida a abordagem da dança como um conteúdo programático na educação básica no Brasil. Em parte, tal fato decorre devido à grande desinformação sobre o tema, levando a problemas para a inclusão de suas técnicas e temas no ensino básico, sendo questionável até mesmo qual profissional de ensino deveria desenvolvê-las nas instituições escolares. Para a autora, a presença da dança como conteúdo curricular deveria se justificada pelo fato de sua produção ocorrer em várias culturas, e a escola deveria se incluir nessa discussão, contribuindo para a compreensão do aluno sobre o ato de dançar.

As dificuldades para essa “demarcação do território” no ensino da dança no país levam a uma miríade de abordagens: Marques [20] relata que as atividades de ensi-

no da dança são marcadas pela sua pluralidade, na qual convivem diferentes modalidades e formas artísticas, assim como diversas propostas educativas que as incorporam como elementos. A interdisciplinaridade é recorrente: Dill e cols. [13], por exemplo, utilizam técnicas de dança para a representação da estrutura atômica dos elementos químicos. A sugestão apresentada nesse artigo se diferencia daquelas encontradas na literatura por não envolver o “desempenho físico” – a dança em si – por parte dos estudantes, mas sim em analisar seus elementos para a discussão dos conceitos físicos subjacentes à apresentação cênica.

A aparente excentricidade da proposta desse artigo, a nosso ver, pode intimidar alguns professores de física. Entretanto, como será relatado a seguir, tal dificuldade é ilusória, pois nossa proposta de trabalho está focada em um tratamento experimental comparativo da situação presente no vídeo. Os experimentos sugeridos são adequados ao estudo de temáticas da óptica e da ondulatória, sobre as quais os professores da disciplina possuem familiaridade. Assim, não defendemos que o professor deva possuir familiaridade com a dança contemporânea ou mesmo apreciá-la esteticamente para aplicar o método de trabalho aqui descrito; ao contrário, sugerimos apenas o aproveitamento de uma situação inusitada para gerar interesse por parte dos alunos sobre os conteúdos

específicos da física.

Possibilidades de trabalho em óptica

Uma das principais vantagens de se trabalhar com a óptica geométrica no Ensino Médio é a facilidade de elaboração de modelos experimentais como representação de uma situação real. Espelhos de diversos formatos são comuns no cotidiano e adaptações podem ser feitas para seu uso em atividades experimentais.

A projeção das sombras de um objeto disposto sobre uma superfície refletora horizontal é um tema já discutido por outros autores [21–24]. Todos esses autores, entretanto, lidam com uma condição particular, considerando que os raios de luz incidentes no espelho sejam paralelos, levando a uma simplificação no tratamento geométrico. Neste trabalho, consideramos necessário apresentar esquemas geométricos mais representativos das situações reais, onde a fonte é considerada a uma distância finita da tela de projeção, tal como observado no espetáculo.

A Fig. 3 apresenta um modelo representativo da situação real representada na Fig. 1, enquanto a Fig. 4 faz o mesmo para a Fig. 2. Nessas imagens, D representa a distância horizontal entre a tela (altura h_4)

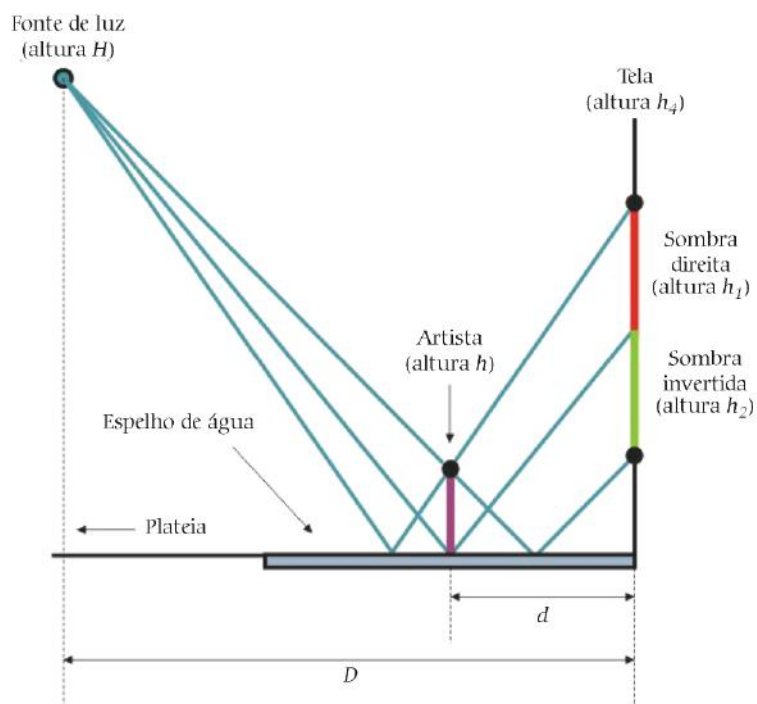


Fig. 3: Modelo geométrico explicativo da sombra dupla, conforme mostrada na Fig. 1.

Sugerimos nesse artigo o aproveitamento de uma situação inusitada para gerar interesse por parte dos alunos sobre os conteúdos específicos da física

e a fonte luminosa, a qual está colocada a uma altura H . O artista, por sua vez, é encarado como um objeto óptico de altura h , e sua cabeça dista d da tela de projeção. As imagens do espetáculo disponíveis na internet mostram que um dos extremos do espelho de água pode ser considerado coincidente com a base da tela. Ao serem projetadas, as sombras duplas (Fig. 3) têm altura h_1 (direita) e h_2 (invertida), enquanto a sombra simples (Fig. 4) tem altura h_3 .

Abordagens algébricas podem ser realizadas a partir desses esquemas geométricos. Entretanto, optamos por uma exposição de ordem mais conceitual, centrada na análise por via experimental e construção de explicações geométricas, pois foi dessa forma que conduzimos o encontro com os estudantes, como será

descrito a seguir. Cabe ressaltar, entretanto, alguns aspectos relativos às dimensões das projeções. É possível demonstrar, por semelhança de triângulos, que as duas sombras que compõem a sombra dupla (Fig. 3) sempre terão tamanhos iguais, e no caso limite de uma fonte infinitamente afastada, cada uma delas terá a mesma altura que o objeto. Já o tamanho da sombra simples (Fig. 4) aumenta com a distância da tela à borda do espelho d’água. Caso a fonte esteja muito distante, o tamanho vertical dessa imagem corresponderá ao comprimento horizontal do artista deitado.

Cabe frisar ainda que a sombra simples, como ressaltado anteriormente, resulta da quase superposição das sombras direita e invertida. Quando o artista está deitado, sua dimensão perpendicular ao plano do espelho é diminuída, levando à quase superposição. Assim, uma sombra caracterizada como simples só seria observada no caso limite de um objeto perfeitamente plano.

Relato e análise da atividade didática

O conteúdo específico trabalhado na aula aqui descrita era o estudo de espelhos na óptica geométrica, o qual já havia sido apresentado de forma prévia em sala de aula. Assim, os estudantes já haviam tido contato com temas como leis da reflexão, imagem em um espelho plano e campo visual de um espelho. A atividade foi desenvolvida em três turmas do segundo ano do Ensino Médio de uma escola particular de Brasília, com aproximadamente trinta e cinco alunos cada.

O vídeo disponibilizado no sítio oficial

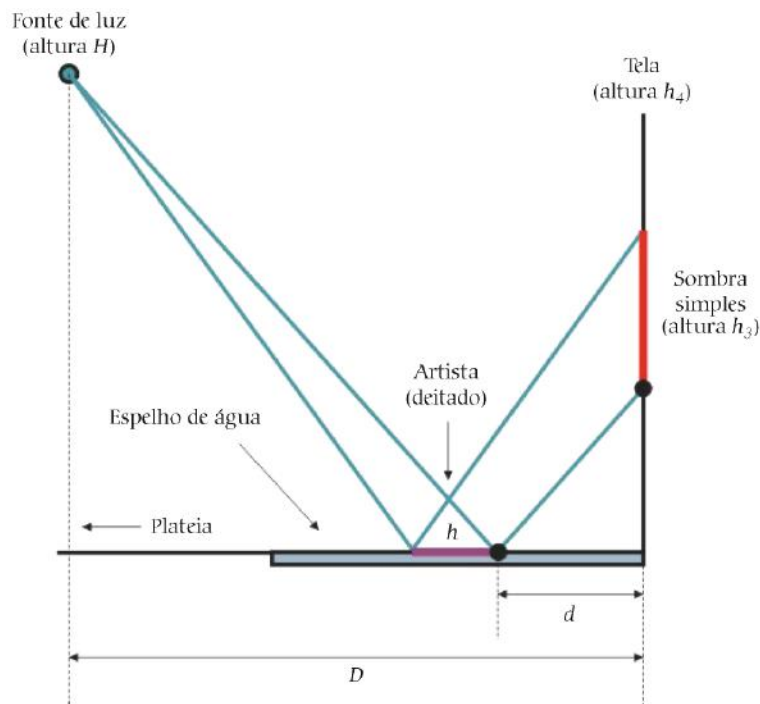


Fig. 4: Modelo geométrico explicativo da sombra simples, conforme mostrada na Fig. 2.

do artista [3] tem boa qualidade e curta duração (dezessete minutos), possibilitando sua apresentação e discussão em uma aula de cinquenta minutos. Durante os cinco primeiros minutos do espetáculo, o artista se encontra quase imóvel, deitado sobre a lâmina de água. Nesses instantes iniciais, a projeção ainda não é visível na tela, pois a potência do holofote sobre a plateia vai sendo aumentada aos poucos, tornando visível a projeção das sombras apenas a partir do sexto minuto da peça.

A apresentação foi feita no laboratório de física da instituição, o qual permite um escurecimento quase total do ambiente, situação não possível de ser conseguida nas salas de aula comuns do colégio. Ressalta-se que a ausência de outras fontes luminosas contribui para uma maior clareza da situação apresentada no vídeo e dialoga com a escuridão do ambiente no espetáculo original. Não documentamos em áudio ou vídeo as aulas, preferindo tomar notas de campo ao longo de cada aula acerca das questões e observações trazidas pelos estudantes sobre o vídeo, sobre o aparato experimental desenvolvido e os modelos geométricos construídos por eles.

Após o deslocamento para o laboratório, os estudantes se dividiram livremente em grupos entre três a cinco integrantes. Sobre uma das bancadas, se encontrava o aparato experimental, que foi utilizado de forma demonstrativa. O aparato era composto por uma fonte luminosa, um espelho plano (50×50 cm), uma figura de ação (boneco representativo

do artista) de 18 cm de altura e uma cartolina branca (50×50 cm) colada sobre uma placa rígida (Fig. 5). Destacamos que essa atividade experimental pode ser feita de forma ágil, seus resultados são imediatos, não há produção de resíduos nem necessidade de manutenção.

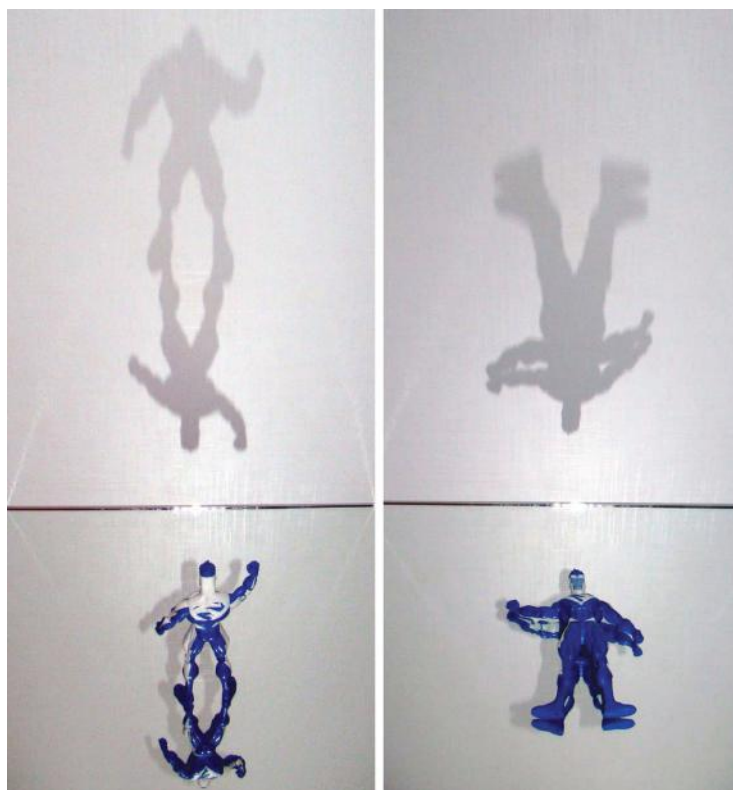


Fig. 5: Aparato experimental em uso, com projeção das sombras da figura de ação quando a mesma está na vertical (esquerda) ou na horizontal (direita).

Pedimos então aos grupos que dirigissem sua atenção inicial ao vídeo que iríamos apresentar, o qual serviria de subsídio para o trabalho experimental que eles iriam desenvolver. Fizemos uma breve contextualização sobre o espetáculo, descrevendo que havíamos assistido à apresentação ao vivo em um teatro e tínhamos percebido uma conexão com os conteúdos da óptica. Descrevemos que a peça incluía um artista sobre uma pequena camada de água, e um ciclorama (tela) atrás do mesmo. Esses aspectos, entretanto, poderiam ser percebidos no próprio vídeo, conforme alguns estudantes apontaram durante a apresentação. Aproveitamos esse momento para alertar os grupos acerca do ritmo propositalmente lento e minimalista constante da proposta do espetáculo.

Os momentos iniciais do vídeo são bastante pausados, com escuridão quase total no palco. Foi percebido que os estudantes não se acomodaram à proposta artística de forma instantânea, sendo necessário algum esforço para que a concentração fosse obtida. Foram percebidas nesses trechos observações como “por que ele está deitado?”, “quando vai começar a peça?” ou mesmo “coisa chata”.

Por volta do sétimo minuto do vídeo, as projeções no ciclorama se tornam subitamente visíveis. Esse momento foi recebido em todas as turmas com grande sur-

presa, fato que nos levou a conjecturar tal fato como intencional. A partir desse momento, percebemos que a atenção dos estudantes se ampliou, fato percebido pelas diversas interjeições de admiração que emanaram do grupo de alunos.

Percebemos a partir desse momento algumas constatações ligadas aos temas da física, a partir de alguns comentários que emergiram dos grupos. Alguns alunos perceberam rapidamente a existência da sombra dupla, quando o artista se encontrava na vertical, apontando esse fato para os colegas – por vezes aos gritos. O caráter duplo da sombra (direita e invertida) também foi ressaltado nessas discussões informais em todas as turmas. Por volta do décimo primeiro minuto, o artista volta a se deitar sobre a lâmina, permanecendo imóvel sobre ela por alguns instantes, e alguns poucos comentários que conseguimos discernir relatavam que a sombra observada tinha deixado de ser dupla.

Apesar de nossas preocupações na atividade didática descrita nesse artigo estarem centradas na óptica geométrica, outras possibilidades pedagógicas puderam ser exploradas, pois os estudantes detectaram vários outros fenômenos. Uma observação frequente que emanou dos grupos de estudantes dizia respeito às ondas observadas na projeção. Causou consternação, por exemplo, o fato das ondas estarem presentes mesmo quando o artista se encontrava imóvel. Tal fato pode ser explicado de forma simples, pois na prática, é muito difícil manter-se absolutamente parado sobre uma lâmina de água, e qualquer oscilação corporal tenderá a produzir tais ondas.

A baixa velocidade das ondas projetadas também foi destacada em duas salas. Essa observação pode ser explicada a partir da relação crescente entre a profundidade da lâmina líquida e a velocidade das ondas. No caso do espetáculo, a pequena espessura da lâmina contribui para a baixa velocidade constatada pelos estudantes para as ondas. Outro desafio que encontramos no trabalho foi explicar a razão da turbulência no movimento do líquido, a qual foi verificada pelos alunos em alguns momentos da peça nos quais o artista se movimentava com mais rapidez sobre a água.

A peça se encerra com o artista dei-

tado e sua sombra desaparecendo na tela, à medida que a iluminação do holofote se esvanece, fato que alguns estudantes encararam como a morte do personagem. Consideramos importante relatar que não detectamos nenhum comentário acerca da gravidade, grandeza física que dá nome ao espetáculo. Quando questionamos os

alunos, logo após a apresentação do vídeo, sobre a conexão entre a peça e a gravidade, não recebemos nenhuma resposta direta, fato que nos levou a conjecturar que a exis-

tência dessa relação entre o espetáculo e a gravidade não é intuitiva.

Partimos então para a prática experimental demonstrativa, a fim de investigar as condições de ocorrência da sombra dupla e da sombra simples. Para tal, seguimos a orientação de Silva e cols. [19], os quais defendem que três níveis de conhecimento devem ser movimentados nesse tipo de atividade: a *observação macroscópica* (descrição daquilo que é visualizado no experimento), a *interpretação microscópica* (explicação da situação observada a partir de teorias científicas) e a *expressão representacional* (construção de modelos geométricos explicativos).

A observação das duas condições (sombra simples e dupla) com o uso do aparato experimental foi imediata, bastando dispor o boneco sobre o espelho na vertical ou horizontal e escolher uma posição adequada para a fonte luminosa. Como é possível perceber na Fig. 5 à direita, não há uma sombra simples, e sim a quase superposição das duas anteriores (à esquerda), fato que levou alguns alunos a questionarem sobre a real necessidade de dois modelos geométricos explicativos. Nos esquemas construídos pelos alunos, entretanto, pedimos que eles fizessem a consideração de um objeto plano, para fins de simplificação do desenho.

Durante essa apresentação, conduzimos um diálogo com os alunos, buscando identificar algumas hipóteses elaboradas pelos estudantes como explicação da situação, refutando apenas aquelas que consideramos como impeditivas à compreensão do fenômeno. Rememoramos então os princípios geométricos da reflexão luminosa, encarando como válido o conceito de raio de luz. Por fim, pedimos aos grupos de estudantes que elaborassem uma explicação geométrica (desenho) para ambas as situações. Essa etapa da aula se

Três níveis de conhecimento devem ser movimentados nesse tipo de atividade: a observação macroscópica, a interpretação microscópica e a expressão representacional

O principal recurso usado pelos estudantes foi o princípio da propagação retilínea dos raios de luz

revelou bastante dinâmica, com múltiplos questionamentos emergentes dos grupos, dificultando o registro das notas de campo, as quais foram feitas apenas ao fim do encontro. As mais frequentes questões se relacionaram à relação entre a posição do artista sobre a água e as sombras projetadas e ao fato do espelho d'água levar à projeção também de sombras das ondas produzidas pelo movimento do artista, situação não simulada pelo espelho plano que substituiu o espelho d'água. Os estudantes tiveram cerca de dez minutos para elaborar suas construções, que foram recolhidas para fins de categorização. Após essa etapa, apresentamos a construção geométrica das Figs. 3 e 4 e discutimos como as sombras eram formadas nas duas situações, para fechamento do encontro.

Após análise das construções geométricas compiladas (vinte desenhos), percebemos que o principal recurso usado pelos estudantes foi o princípio da propagação retilínea dos raios de luz. A igualdade entre o ângulo de incidência e o de reflexão foi sugerida nos desenhos da maioria dos grupos. Não nos surpreendeu o fato de mais da metade (doze) dos grupos não ter sido capaz de formular corretamente a formação da imagem dupla. Três grupos, entretanto, explicaram a formação dessa imagem usando o artifício de uma fonte de luz virtual, localizada abaixo do espelho, a qual produzia a sombra direita, enquanto a fonte real produzia a sombra invertida, demonstrando o uso de recursos mentais de nível mais elevado. Por sua vez, feita a consideração de um objeto plano, a sombra simples não representou obstáculos à elaboração do modelo geométrico: dezoito grupos apresentaram um modelo geométrico similar ao constante na Fig. 2.

Conclusões

A principal limitação da atividade experimental desenvolvida (e da proposta didática como um todo) diz respeito à incapacidade de simulação da projeção das ondas criadas pelo dançarino durante seu movimento pelo espelho d'água. A princípio, tentamos usar um recipiente com água ao invés do espelho plano, mas os resultados observados foram insatisfatórios, razão pela qual decidimos pelo uso do espelho tradicional e restringimos a investigação apenas às sombras do próprio artista. O tempo disponível para a atividade também nos obrigou a limitar o conteúdo abordado. Ressalta-se, entretanto, que os estudantes fizeram ao longo da atividade diversos questionamentos acerca das ondas emitidas, instigando pesquisas futuras.

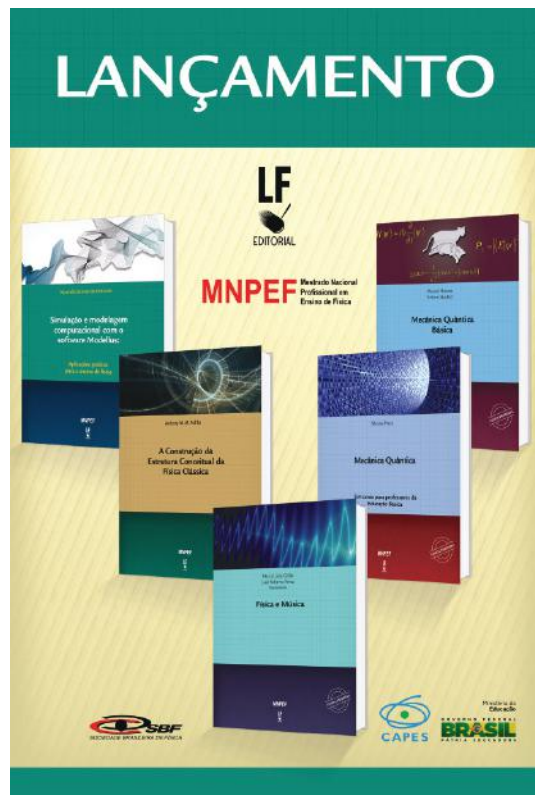
Percebeu-se que as turmas apresentaram uma resposta positiva e uniforme à atividade, mostrando que o espetáculo se revelou uma rica fonte de questionamentos em óptica geométrica, motivando tanto a investigação experimental de-

monstrativa quanto a construção de modelos geométricos pelos estudantes. Essa motivação foi percebida principalmente pela variedade de indagações e levantamentos de hipóteses identificadas nos grupos durante a realização da atividade. Por

fim, esperamos ainda que a análise da performance tenha permitido o estabelecimento de novas relações interdisciplinares, ajudando os estudantes a significar o papel da arte e da ciência em diferentes contextos sociais.

Referências

- [1] J. Martins, A. Bigansolli e F. Cruz, *Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI* **8**, 18 (2012).
- [2] D. Schiel, I. Guerrini, A. Castro e E. Marega, *Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física* **15**, 2313 (2003).
- [3] F. Lambert, *L'Expérience Harmaat – vidéos*. Disponível em <http://www.experienceharmaat.com/fr/videos.html>, acessado em 2/10/2015.
- [4] J. Zanetic, *História, Ciências, Saúde – Manguinhos* **13**, 55 (2006).
- [5] J. Zanetic, *Pro-Posições* **17**, 39 (2006).
- [6] J. Reis, A. Guerra e M. Braga, *História, Ciências, Saúde – Manguinhos* **13**, 71 (2006).
- [7] A. Moraes, M. Barbosa e J. Oliveira, *Enseñanza de las Ciencias extra*, 1763 (2009).
- [8] T. Oliveira, *Ciência & Educação* **18**, 559 (2012).
- [9] A. Guerra, J. Reis e M. Braga, *Física na Escola* **3**, 8 (2002).
- [10] R. Liberali e S. Grosseman, *Interface – Comunicação, Saúde, Educação* **19**, 561 (2015).
- [11] A. Silveira, A. Ataíde e M. Freire, *Educar em Revista* **34**, 251 (2009).
- [12] C. Moreira, M. Araújo e B. Alves, *Atas da XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão*, [s.p.] (2013).
- [13] R. Dill, L. Richter e A. Siqueira, *Di@logus* **2**, 1 (2013).
- [14] L. Oliveira, *Física na Escola* **7**, 79 (2006).
- [15] L. Piassi e M. Pietrocola, *Educação e Pesquisa* **35**, 525 (2009).
- [16] M. Brake and R. Thornton, *Physics Education* **38**, 31 (2003).
- [17] M. Rocha, G. Donato Jr, G. Oliveira Jr e J. Messeder, *Revista Ciências & Ideias* **2**, 1 (2010).
- [18] G. Shurr e R. Yocom, *Modern Dance, Techniques and Teaching* (Princeton Book Company Publishers, New York, 1980), 1ª ed., p. 13.
- [19] K. Porpino, *Salto para o Futuro* **12**, 9 (2012).
- [20] I. Marques, *Salto para o Futuro* **12**, 16 (2012).
- [21] B. Bukhovtsev, V. Krivtchenkov, G. Miakishev e I. Saraeva, *Problemas Seleccionados de Física Elementar* (Editora Mir, Moscou, 1985), 2ª ed., p. 178-179.
- [22] M. Cepic, *Physics Education* **41**, 295 (2006).
- [23] D. Russell, *The Physics Teacher* **48**, 74 (2010).
- [24] R. Silva, P. Machado e E. Tunes, in: *Ensino de Química em Foco*, organizado por W. Santos e O. Maldaner (UNIJUÍ, Ijuí, 2010), 1ª ed., p. 231-261.



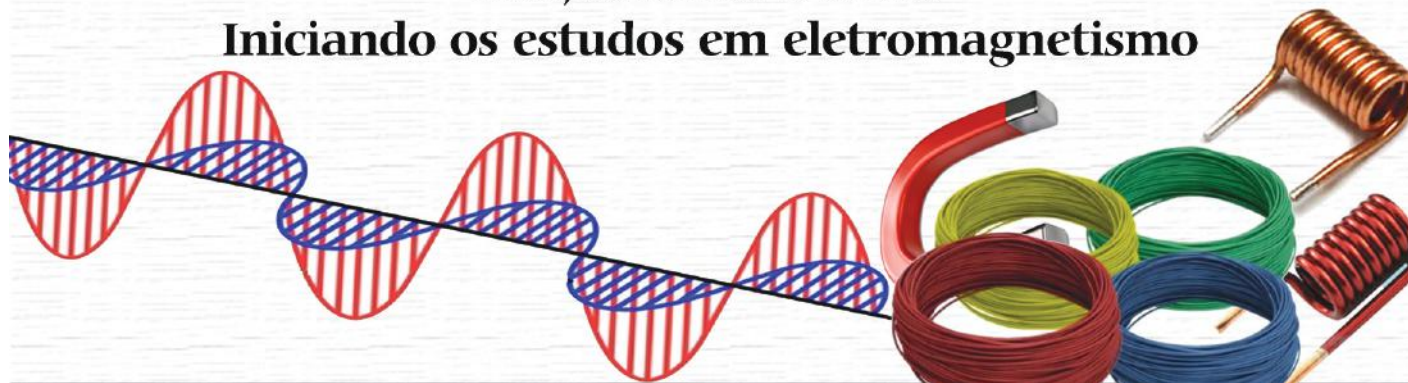
Box de livros para o MNPEF

A Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Editora Livraria da Física acaba de lançar um box com 5 livros para os alunos do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Trata-se de uma obra inédita destinada a apoiar as disciplinas ministradas nos atuais 62 polos do MNPEF. A distribuição está sendo feita pela SBF, gratuita e exclusivamente para os alunos e professores do mestrado.

Os livros são:

- 1- Mecânica Quântica Básica
- 2 - Física e Música
- 3 - Mecânica Quântica - um curso para professores da Educação Básica.
- 4 - A Construção da Estrutura Conceitual da Física Clássica
- 5 - Simulação e Modelagem computacional como software Modellus.

Fios, bobinas e ímãs: Iniciando os estudos em eletromagnetismo



.....
Éwerton Jéferson Barbosa Ferreira
Grupo de História da Ciência e Ensino,
Universidade Estadual da Paraíba,
Campina Grande, PB, Brasil
E-mail: ewertonjeferson@hotmail.com

Ana Paula Bispo da Silva
Grupo de História da Ciência e Ensino,
Departamento de Física, Universidade
Estadual da Paraíba, Campina Grande,
PB, Brasil
E-mail: anabispouepb@gmail.com

Luciano Feitosa do Nascimento
Grupo de História da Ciência e Ensino,
Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia da Paraíba, Campina
Grande, PB, Brasil
E-mail: Luciano.nascimento@ifpb.edu.br
.....

Introdução

É reconhecido e encontrado na literatura que as atividades laboratoriais no ensino de ciências desenvolvem nos alunos motivação e interesse [1-3]. Um dos pontos positivos sobre a presença da experimentação no ensino é que esta permite que o aluno associe a teoria à prática e ainda reconheça a interdependência estabelecida entre ambas [4].

Apesar do conhecimento de a experimentação ser um forte subsídio para ensino, existem empecilhos que muitas vezes impedem esta prática de ser realizada, como por exemplo a falta de laboratórios e equipamentos nas escolas [5].

Como forma de solução à problemática da ausência de material para os laboratórios, existe o alternativo e denominado “laboratório de baixo custo” [6]. Os experimentos de laboratório nesta perspectiva são desenvolvidos tendo como foco principal a acessibilidade dos materiais utilizados nos aparatos, sem, contudo, perder a eficácia conceitual e fenomenológica envolvida no aparato construído.

É com base nesta perspectiva do desenvolvimento de materiais laboratoriais de baixo custo que propomos neste trabalho uma proposta para construção de uma bobina. É feita uma descrição detalhada da construção do aparato utilizando-se imagens reais e desenhos. Em seguida apresentamos uma breve sugestão de atividade envolvendo o aparato desenvolvido, algumas considerações sobre a sua utilização e norteamentos para atividades experimentais. Com este trabalho espera-se estar contribuindo tanto para fornecimento de subsídios didáticos para o professor ministrar

suas aulas como para intensificar a presença e utilização da experimentação.

Construção de um instrumento do laboratório de física: bobina

A bobina é um dos principais instrumentos para a realização de experimentos sobre eletromagnetismo. Ela é constituída por um conjunto de fios enrolados de maneira uniforme e justapostos em torno de um objeto, geralmente cilíndrico. O número de voltas do fio e o tamanho da bobina influenciarão no campo magnético, como detalharemos mais à frente.

Materiais utilizados

- 12 m de fio de cobre esmaltado, com aproximadamente, $0,26 \text{ mm}^2$ de seção reta (fio 23). Talvez o material mais difícil de se encontrar, dependendo da região;
- Cano PVC – popular cano d’água – de 40 mm;
- Super cola fixadora.

Descrição

Aqui apresenta-se uma explanação do processo de confecção, procurando-se detalhar o melhor possível cada etapa. Para caracterização minuciosa da construção deste material, são utilizadas imagens reais da fabricação do instrumento e, quando necessário, figuras ilustrativas (desenhos). É importante mencionar que estas ilustrações estão fora de proporção e servem, junto a imagem real, para mostrar os procedimentos descritos.

O sistema descritivo adotado está organizado em um “passo a passo” para tornar prático os procedimentos e a explicação da construção do material.

Os experimentos de “laboratório de baixo custo” são desenvolvidos tendo como foco principal a acessibilidade dos materiais utilizados nos aparatos, sem, contudo, perder a eficácia conceitual e fenomenológica envolvida no aparato construído

Apresentamos aqui a construção de uma bobina a partir de materiais acessíveis, a qual pode ser utilizada para uma aula experimental do conteúdo de indução eletromagnética. Ainda que o material desenvolvido seja simples este pode proporcionar benefícios como a produção de material para o laboratório da escola, enriquecimento das aulas de física possibilitando uma alternativa ao método expositivo.

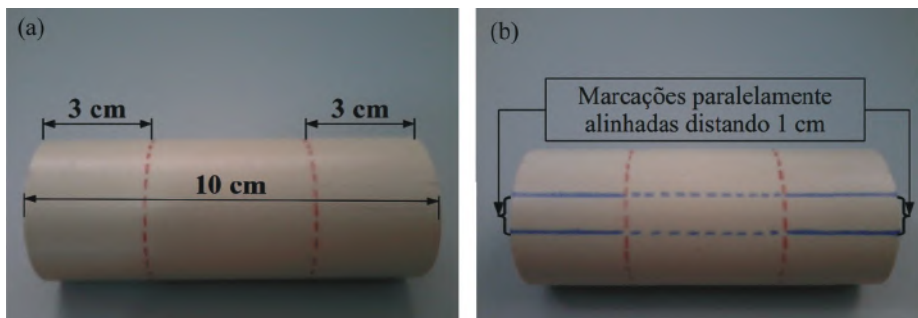


Figura 1: (a) Comprimento do cano PVC 40 mm e dupla marcação de 3 cm nos extremos do cano; (b) Marcações paralelas e alinhadas.

1º passo – Corta-se um pedaço de cano com comprimento $L = 10$ cm, de maneira que este seja o mais reto possível de ambos os lados, e utilizando uma caneta hidrocor medimos 3 cm a partir da extremidade de cada lado do cano e fazemos uma marcação circular que o contorne por completo (Fig. 1a). Em seguida fazemos duas marcações retas em ambas as extremidades do cano até coincidir com a marcação circular feita anteriormente. Essas marcações devem estar no mesmo alinhamento e distar 1 cm uma da outra (Fig. 1b).

2º passo – Partindo das extremidades do cano e das marcações feitas no 1º passo (Fig. 1b), desenham-se quadrados medindo 1 cm de aresta em ambos os lados do cano. Feito isto, demarcamos toda a figura formada através de traços ou pintando-a, para destacá-la bem, pois esta parte no decorrer da construção não poderá ser cortada (Fig. 2).

3º passo¹ – A partir dos quadrados formados nas extremidades, traçamos linhas paralelas, como mostrado na Fig. 3, até coincidir com a marcação circular do cano (realizada no 1º passo), e fazemos outros dois quadrados com as mesmas dimensões dos descritos anteriormente (1 cm \times 1 cm). Ressalta-se que estes também não devem ser cortados no decorrer da construção.

Na imagem real (Fig. 3a) é um pouco difícil ter uma visualização completa destes quadrados, devido ao fato de que o cano é cilíndrico e as marcações terminam

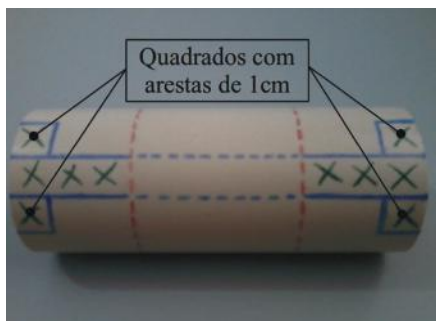


Figura 2: Quadrados 1 cm \times 1 cm.

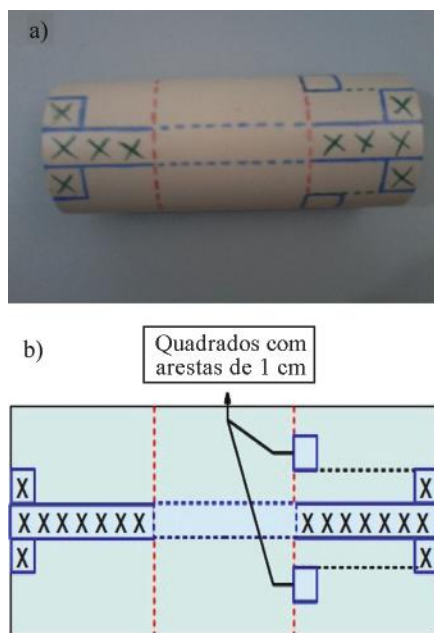


Figura 3: Quadrados semelhantes aos do 2º passo. a) Foto da peça real. b) Ilustração.

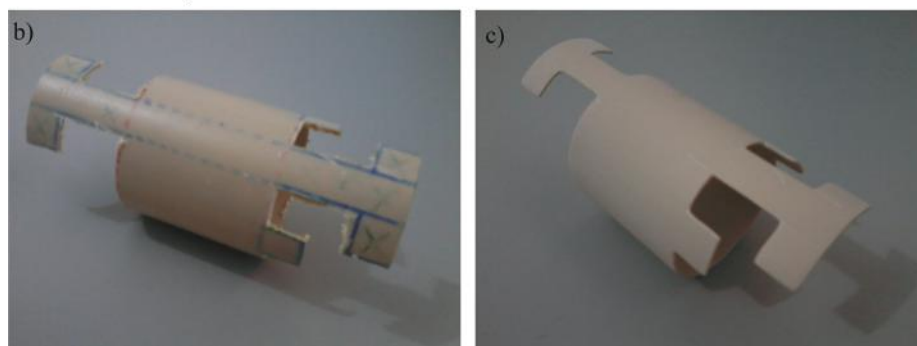


Figura 4: a) Indicação dos cortes. b) Estado da peça ao término dos cortes. c) Pré-acabamento.

em suas laterais. Em uma vista de cima e uma fotografia deste ângulo não permitem enxergar totalmente os dois de uma só vez. Entretanto, a ilustração (Fig. 3b) considera como se o cano estivesse achatado, para ambos os quadrados serem contemplados na imagem, permitindo assim uma melhor compreensão.

4º passo – Utilizando uma serra de cano, fazemos os devidos cortes como indicado na Fig. 4a e obtemos como resultado a Fig. 4b. Após os cortes, a peça final pode ficar um pouco suja e com algumas rebarbas provindas dos cortes realizados. Para dar um pré-acabamento na peça, pode-se utilizar uma simples lixa de madeira, que preferencialmente seja fina (Fig. 4c).

Ressaltamos e recomendamos também que lixar a peça por completo ajuda a torná-la mais áspera, o que facilita no enrolamento do fio ao corpo preparado, pois os canos geralmente são um pouco lisos. Vale lembrar que este procedimento é opcional e adotamos aqui por uma questão de estética do material construído.

5º passo – Agora, as extremidades em forma de “T” de ambos os lados servirão como base, ou pés de apoio para nossa bobina. Com a ajuda de um fósforo, aquecemos a junção entre a peça da extremidade em forma de “T” e a parte circular para envergá-la, e então formar o suporte (Fig. 5). Este procedimento é o mesmo para ambos os lados.



Figura 5: Extremidades de suporte “T”.

Como o cano do qual foi construído o corpo da bobina é um tanto fino, a chama do fósforo é suficiente para aquecê-lo a ponto de envergar as extremidades. Sugerimos realizar este procedimento uma parte de cada vez, e quanto fizer o dobramento para garantir a permanência naquela posição, pode-se mergulhar a peça, imediatamente após o dobramento, em água a temperatura ambiente.

Também deve-se moderar o contato da peça com as labaredas do fósforo, pois ela pode tostar a junção. Caso isto aconteça, se a mancha for superficial, podemos tentar lavar para retirar a mancha. Se esta for muito profunda, podemos utilizar a lixa para raspar a parte queimada.

Até agora temos cada parte da peça desenvolvida: a região cilíndrica para o enrolamento do fio; as “extremidades T” para os suportes da bobina; e os pequenos quadrados exclusivamente presentes em um lado serão as garras de contato elétrico por onde irá se começar e terminar o enrolamento do fio.

6º passo – Peguemos agora outro pedaço de cano e façamos com estes dois anéis com largura igual a 0,5 cm (Fig. 6). O cano utilizado para confecção destes anéis é o mesmo utilizado para construção geral do corpo da bobina.

Estes anéis servirão como travas para que quando começemos a enrolar o fio este não escape pelas laterais. Caso a quantidade de espiras, a critério do construtor, ultrapasse os anéis, de maneira que possibilitem sua saída pelas laterais, pode-se colar um anel semelhante por cima.

7º passo – Partimos os anéis, para



Figura 6: Anéis fixadores para o enrolamento dos fios no corpo da bobina.

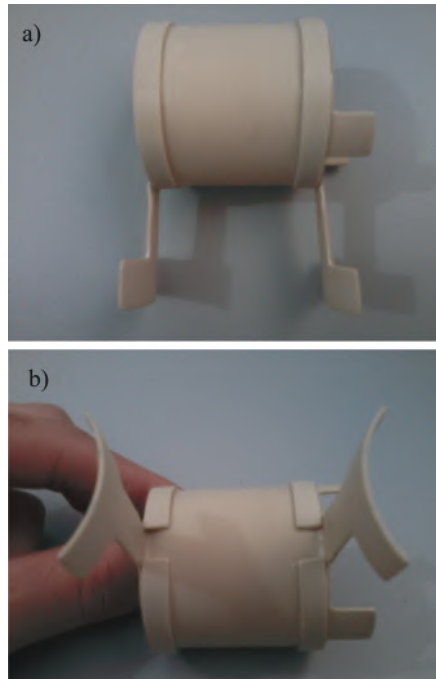


Figura 7: a) Anéis acoplados ao corpo da bobina. b) Localização do corte feito na partição dos anéis.

que seja possível encaixá-los sobre o cano da bobina. Com a ajuda de super cola, fixamos cada um destes em uma das extremidades da bobina, de maneira que a borda exterior do anel e a da bobina fiquem iguais (Fig. 7a). O corte da partição deve ficar na parte inferior da bobina, próximo às partes dos pés de apoio (Fig. 7b).

Vale ressaltar: é importante que os anéis fiquem bem fixados, pois quando se enrolar o fio irá se causar um pouco de força nas laterais – isto é, nos anéis – devido às superposições e o ajuste dos fios.

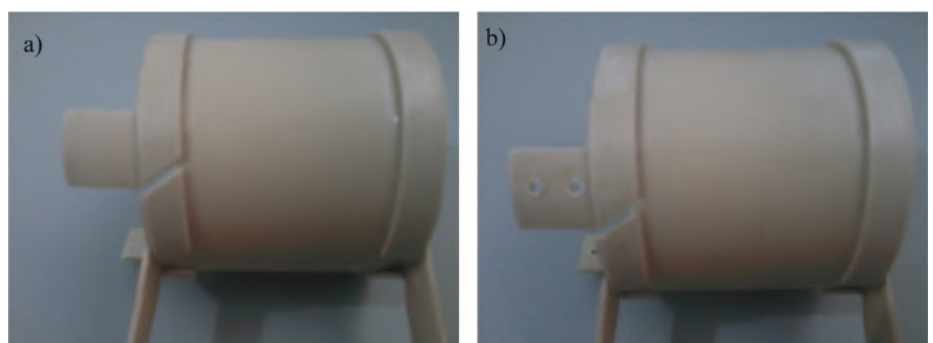


Figura 8: a) Corte em diagonal. b) Pequenos orifícios.

Caso os anéis não estejam bem firmados sobre o corpo da bobina, pode ocorrer destes se desprenderem e consequentemente desmanchar o enrolamento.

8º passo – Fazemos agora um pequeno corte em ambos os lados partindo da região inferior da lateral dos pequenos quadrados presentes unicamente em um dos lados. Este corte deve ser em diagonal e deve findar imediatamente ao ultrapassar o anel, isto é, igualar-se a sua parte interna (Fig. 8a). Ademais, também fazemos dois pequenos furos, que possibilitem a passagem do fio, em ambos os quadrados (Fig. 8b).

Estes pequenos orifícios e cortes realizados têm a finalidade de auxiliar o início e o fim do enrolamento do fio na bobina.

9º passo – Agora passemos o fio duas vezes pelos orifícios para prendê-lo de maneira que sobre um comprimento de aproximadamente 5 cm para fora do corpo da bobina (Fig. 9a). Seguidamente enrola-se o fio em volta do cano onde cada volta de fio deve ficar junta a outra, não permitindo folga entre as mesmas (Fig. 9b e 9c).

Para esta bobina utilizamos um comprimento de fio de cobre esmaltado com aproximadamente 12 m. A quantidade de voltas é arbitrária e fica a critério do construtor, podendo ele optar por colocar mais ou menos voltas. Aqui utilizamos este comprimento de fio (12 m) por permitirmos completar toda a parte do cano com espiras justapostas no processo de “ida e volta” do enrolamento até a extremidade em que prendemos o fio de cobre. Esta bobina contém aproximadamente 90 espiras.

10º passo – Após o processo de enrolamento, finalizamos prendendo o fio de forma semelhante à realizada no 9º passo, isto é, passamos o fio 2 vezes contornando por dentro os dois pequenos orifícios (Figs. 10a, 10b e 10c). Também deixamos uma ponta de fio com aproximadamente 5 cm de comprimento (Fig. 10d).

Para finalizar a nossa bobina, com o auxílio de uma lixa de madeira raspamos o esmalte das pequenas pontas (Fig. 10d),

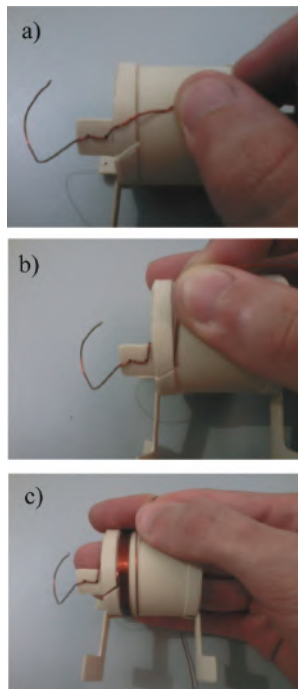


Figura 9: a) Demonstração de como prender a extremidade de fio. b) e c) Enrolamento do fio.

para que possamos ter o contato elétrico, uma vez que o fio de cobre é esmaltado. Temos o arranjo final mostrado na Fig. 11.

Algumas considerações

No que se refere aos procedimentos de construção, estes podem ser aplicados a canos de dimensões maiores, isto é, maior diâmetro, como por exemplo: 75 mm, 100 mm. O que irá diferir, logicamente,



Figura 11: Arranjo final da bobina de cano PVC.

são apenas as marcações para as configurações, contudo os processos construtivos são semelhantes. Para as novas dimensões das marcações, fica a critério e bom senso de escala do construtor para estabelecê-las proporcionalmente e transpor as outras medidas para o cano a ser utilizado no procedimento. Uma sugestão para o seu direcionamento nas medidas pode ser a criação de um fator de proporcionalidade entre as dimensões dos instrumentos; para isto se utilizaria a razão entre os diâmetros dos canos.

Apesar da semelhança no processo de construção, isto pode implicar em algumas pequenas observações a serem feitas, com relação à intensidade do campo magnético (**B**) gerado no centro da bobina através da passagem da corrente elétrica.

Antes, analisemos a equação da intensidade do campo magnético no centro de uma bobina.

$$B = N \frac{\mu_0 i}{2r} \quad (1)$$

Na Eq. (1), temos que N é o número de espiras que compõe a bobina; i é a intensidade da corrente elétrica que percorre o fio da bobina; μ_0 é a constante de permeabilidade magnética do meio, que no vácuo equivale a $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$; e r o raio [7].

De acordo com a equação, com o aumento do diâmetro do cano utilizado, teremos também um maior raio (r), o que implica diretamente – considerando como constantes o número de espiras e a fonte elétrica – na redução da intensidade do campo magnético (**B**) configurado no centro da bobina. De acordo com a expressão, **B** é inversamente proporcional a r . Então, uma solução para esta consequência pode ser o aumento da quantidade de espiras ou ainda utilizarmos uma fonte com corrente elétrica maior. Mas neste último caso pode ocorrer dos fios aquecerem, já que praticamente não temos uma resistência associada.

Sobre o fio a ser utilizado no enrolamento da bobina, temos que a sua espessura (bitola) pode ser mais grossa ou mais fina. Entretanto, a utilização de um fio muito fino pode provocar um super aquecimento dos fios (se utilizarmos um fonte acoplada à bobina); já a utilização de um fio muito grosso torna dificultoso o seu enrolamento no corpo construído para bobina.

Devido à complexidade na construção deste material, confeccioná-lo em sala de aula não é tão interessante do ponto de vista prático, já que é necessário um intervalo de tempo considerável para desenvolvê-lo e ainda prosseguir com a aula. Então, levando isto em consideração, pode-se proceder de duas formas: solicitar que os alunos construam suas bobinas em casa, com antecedência, e assim possam montar as experiências individualmente; ou construir apenas uma bobina e utilizar o experimento associado a ela de maneira demonstrativa. Cabe ao professor adequar a melhor forma à sua realidade.

Nesta primeira forma pode-se fragmentar a sala de aula em grupos de 2 a 4 integrantes. Assim, os alunos podem se organizar na busca dos materiais a na construção do apetrecho. Sugere-se que o professor peça isto com antecedência (ex.: 2 semanas antes da aula que irá se utilizar o aparato), pois caso haja eventuais problemas ou dúvidas dos alunos quanto ao processo construção, ele disporá de tempo para solvê-las. Na segunda, o professor trabalha o experimento com características demonstrativas, mostrando aos alunos os fenômenos en-

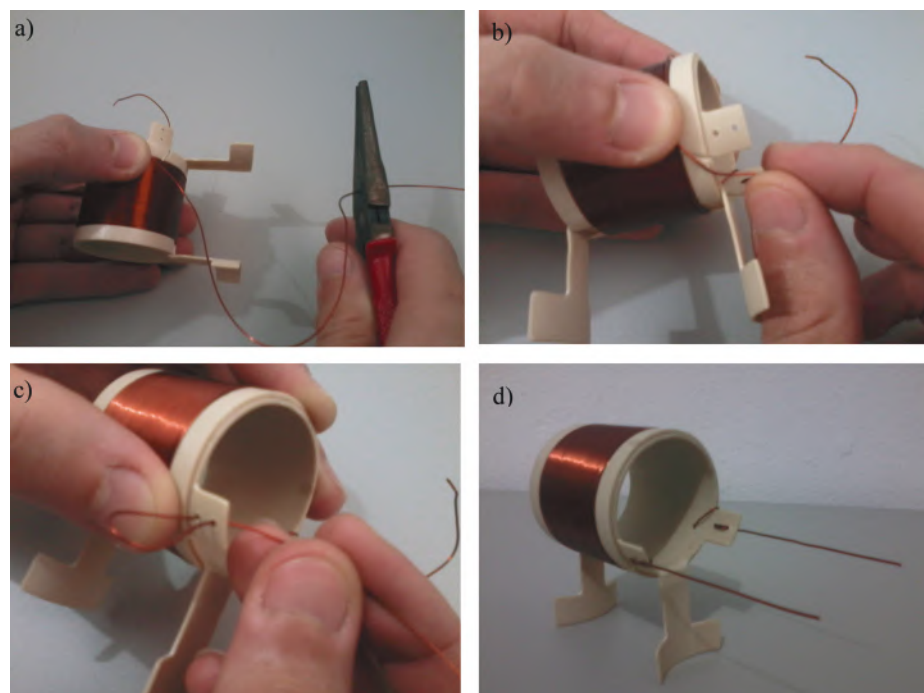


Figura 10: Imagens do processo de finalização do enrolamento do fio.

volvidos no experimento, também permitindo que os mesmos participem da demonstração, isto é, manipulem o aparato na experiência. Caso algum aluno apresente interesse pelo aparato, o professor pode fornecer os procedimentos de construção para que ele tente fazer em casa.

Independentemente da forma como a bobina for construída, ou o experimento for individual ou demonstrativo, o importante é o processo de utilização da mesma, envolvendo sempre um problema a ser solucionado e tornando a aula interativa, como ressalta Borges [8].

Exemplo de atividade

Reconhecemos que o aparato desenvolvido não tem por si só um conteúdo a ser explorado, mas como mencionado anteriormente podemos utilizar este produto para nos auxiliar a trabalhar, por exemplo, o conteúdo de indução eletromagnética. Apesar da simplicidade da proposta, ou até mesmo por este motivo, ela pode servir de ponto de partida para estimular os alunos nas atividades experimentais de maneira independente.

Um pouco dos fundamentos teóricos envolvidos

São reconhecidamente importantes os papéis de Oersted e Faraday para a composição das bases do eletromagnetismo. O primeiro – Oersted – observou em seus estudos que a passagem de corrente elétrica por um fio possibilita a existência de um campo magnético à sua volta. O segundo observou o inverso de Oersted, ou seja, que a variação de um campo magnético induzia uma corrente elétrica².

Com seus estudos, Faraday e Henry mostraram que ao movimentar-se um ímã no interior de uma bobina, faz-se surgir uma corrente elétrica no fio da mesma. Este fenômeno é chamado de indução eletromagnética [12]. À corrente gerada por esta variação do campo magnético dá-se o nome de *corrente induzida* e a voltagem (causa) que permite o aparecimento da corrente elétrica é denominada de *força eletromotriz*.

A indução desta força eletromotriz (f.e.m.) e da corrente é explicada pela variação da quantidade de linhas de campo magnético na espira ou bobina, o que conhecemos como “lei de Faraday” [13].

Matematicamente, a lei de Faraday pode ser expressa por

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2)$$

onde \mathcal{E} é a força eletromotriz induzida no circuito, responsável pela corrente indu-

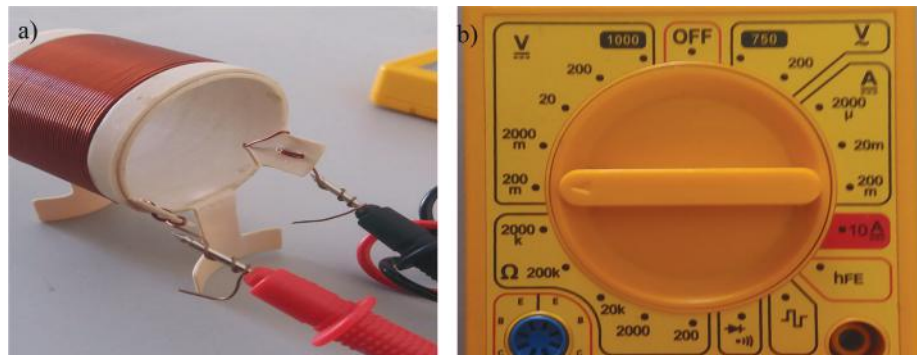


Figura 12: Preparação do experimento. (a) Ligação do multímetro a bobina e (b) Ajuste da escala.

zida, e $d\Phi_B/dt$ é a taxa de variação do fluxo magnético (Φ_B) com relação ao tempo, isto é, variação das linhas de campo magnético na área dada. O sentido da corrente elétrica induzida pela f.e.m. configura-se de maneira que o seu campo magnético é contrário ao campo magnético que induz a corrente – conhecida como lei de Lenz [13].

Para uma bobina com N espiras obtemos a força eletromotriz total produzida multiplicando o lado direito da Eq. (2) pelo número N de espiras da bobina, pois em uma definição não formal uma bobina nada mais é que um aglomerado de espiras.

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3)$$

É importante notar que quanto maior for a quantidade de espiras da bobina sujeita a variação do campo magnético – fluxo – maior será a força eletromotriz induzida no circuito da mesma.

Sugestão experimental

Os materiais que constituem a proposta experimental são: uma bobina, um multímetro digital e um ímã de alto falante – caso se tenha à disposição um ímã em barra, os resultados são melhores.

Primeiramente conectamos as pontas

teste do multímetro digital às pontas de contato da bobina (Fig. 12a). Seguidamente ajustamos a escala para medir tensão (voltagem). É importante mencionar que devido às dimensões dos aparatos a f.e.m. produzida será pequena, assim devemos selecionar no multímetro uma escala pequena para detectarmos com mais precisão a variação de valores no decorrer da experimentação (Fig. 12b).

Agora pegamos o ímã e o movimentamos no lado oposto as conexões com o multímetro, aproximando e afastando lentamente (Fig.13).

Ao fazermos isto constantemente, durante um intervalo de tempo, estamos fazendo variar a quantidade de linhas de campo magnético que penetram a bobina, isto é, estamos produzindo uma taxa de variação do fluxo magnético e gerando uma f.e.m.

Fazendo esta variação de posição entre o ímã e a bobina, constatamos no visor do multímetro alguns valores para f.e.m.. Imagens do visor do multímetro para alguns dos valores obtidos experimentalmente estão mostrados na Fig. 13.

O sinal negativo que aparece nos valores são devidos ao sentido da variação das linhas de campo magnético que ora estão “entrando” na bobina, ora “saindo” da mesma.

Ainda que não seja objetivo deste tra-

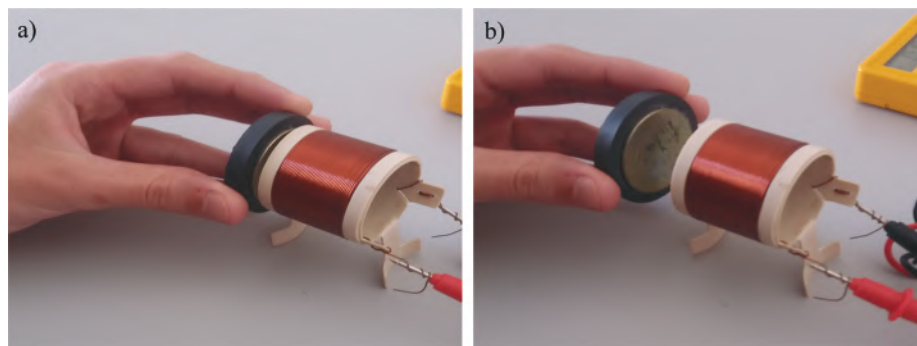


Figura 13: Movimentação do ímã produzindo variação das linhas de campo magnético (a e b).



Figura 14: Registro dos valores da f.e.m. produzida pela variação das linhas de campo magnético na bobina (a, b, c e d).

balho desenvolver uma proposta de atividade ampla para a condução de uma atividade experimental (sequência didática), sugerimos uma abordagem problematizadora em que os alunos sejam instigados a planejarem e executarem o experimento sem seguir roteiros ou passos pré-determinados. Neste sentido, a ideia de laboratório construtivista de Rosa e Rosa [14] ou de laboratório desafiador de McComas [15] parecem-nos as mais indicadas.

A problematização, ou o problema a ser resolvido, pode partir de fenômenos

conhecidos pelos alunos, ou então conter elementos de história da ciência. No caso da opção por inserir a abordagem histórica, as descrições de Faraday e até mesmo a introdução de informações biográficas podem servir como material para a contextualização do experimento. Material sobre as primeiras observações de Faraday sobre a indução de correntes e sua biografia podem ser encontrados em Faraday [16]; Lima [17] e Dias e Martins [18].

Conclusão

Este trabalho parte da premissa de que

a atividade experimental pode contribuir para o ensino da física, estimulando os alunos a conhecerem de maneira prática os fenômenos físicos. Nesse sentido, buscamos por superar os principais obstáculos que usualmente são apontados pelos professores, como a ausência de materiais, apresentando a forma de construir uma bobina com materiais de baixo custo. A partir da bobina, o professor pode, diante de seu contexto, escolher a metodologia que julgar adequada para tornar a atividade experimental potencialmente enriquecedora, e buscar pela melhoria da própria prática.

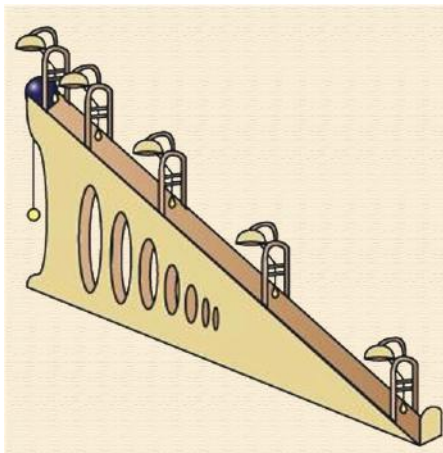
Notas

¹O lado destes quadrados pode ser qualquer um, porém apenas é necessário que estejam exclusivamente em apenas um dos lados do cano.

²Os detalhes sobre a história do eletromagnetismo podem ser encontrados em Martins [9], Chaib e Assis [10] e Silva e Guerra [11].

Referências

- [1] M.B.P. Camargo e N. Zimmermann, *Revista da SBEnBIO* **7**, 5330 (2014).
- [2] W.E. Francisco Jr., L.H. Ferreira e D.R. Hartwig, *Química Nova na Escola* **30**, 34 (2008).
- [3] M.S.T. Araújo e M.L.V.S. Abib, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 176 (2003).
- [4] M.G. Séré, S.M. Coelho e A.D. Nunes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, 30 (2003).
- [5] S.E. Duarte, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **29**, 525 (2012).
- [6] E.I. Santos, L.P.C. Piassi e N.C. Ferreira, in *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*, Jaboticatubas-MG (2004).
- [7] B. Barreto Filho e C.X. Silva, in *Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna*, (FDT, São Paulo, 2013), 2nd ed, p. 142-147.
- [8] A.T. Borges, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).
- [9] R.A. Martins, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **10**, 89 (1986).
- [10] J.P.M.C. Chaib e A.K.T. Asis, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 41 (2007).
- [11] A.P.B. Silva e A. Guerra (orgs.), *História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para a sala de aula* (Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [12] P.G. Hewitt, in *Física conceitual*, (Bookman, Porto Alegre, 2011), 11^a ed, p. 445-460.
- [13] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, in *Fundamentos de física*, (LTC, Rio de Janeiro, 2011) 8^a ed, p. 263-303.
- [14] C.T.W. Rosa e A.B. Rosa, *Física na Escola* **13**, 4 (2012).
- [15] W. MCCOMAS, *The Science Teacher* **72**, 24 (2005).
- [16] M. Faraday, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **28**, 152 (2011).
- [17] I.P.C. Lima, in *História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para a sala de aula*, (Livraria da Física, São Paulo, 2015), p. 39-56.
- [18] V.S. Dias e R. A. Martins, *Ciência & Educação* **10**, 517 (2004).



Plano inclinado:

Um experimento galileano a ser realizado por alunos e professores da Educação Básica

.....
Luiz Gonzaga Roversi Genovese
Instituto de Física, Universidade
Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.
E-mail: lgenovese@ufg.br

Jefferson Adriany Ribeiro da Cunha
Instituto de Física, Universidade
Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.
E-mail: adriany@ufg.br
.....

Introdução

O ensino de física em qualquer nível pode e deve ser realizado empregando-se experimentos. O porquê de tal afirmação não reside no entendimento de que a realização pura e simples de experimentos resolveria todo e qualquer problema de aversão e compreensão dos conceitos, métodos, teorias, leis, princípios e o processo histórico de desenvolvimento da ciência física por parte dos alunos. Muito menos ainda, na afirmação equivocada de que observar e/ou realizar experimentos torna mais fácil a aprendizagem nesse campo do conhecimento humano, como se o simples fato de se trabalhar com materiais concretos fosse, por si só, capaz de promover o entendimento dos fenômenos físicos, deixando à margem a laboriosa, necessária e intencional atividade racional do sujeito, seja aluno seja professor.

Os experimentos de física construídos a partir de materiais presentes no cotidiano dos alunos e de fácil aquisição também são, por vezes, amplamente enaltecidos e sua utilização estimulada, principalmente, na Educação Básica, empregando-se argumentos ora distintos ora semelhantes àqueles mencionados no parágrafo anterior.

Argumentos como esses compõem um rol de entendimentos que sustentam a ideia comum e bastante disseminada de que a experimentação seria a solução para os problemas associados ao ensino e a aprendizagem em física. Essa equivocada ideia sobre o papel redentor da experimentação no ensino e na aprendizagem em

física é aqui entendida como uma panaceia, ou, o que é pior, um mito do “fez o experimento, aprendeu”, que mais impede do que propicia melhores práticas e entendimentos vinculados com a experimentação.

Vários são os trabalhos que mostram quanto equivocada é tal ideia. Dentre eles

encontra-se o de Wellington [1], onde são elencadas as seguintes dificuldades e problemas associados com a atividade prática que, em vários aspectos, são similares à realização de experimentos, tais como: o professor pode levar os alunos a acreditar que são “verdadeiros cientistas”; práticas não

Ideia comum e bastante disseminada é a de que a experimentação seria a solução para os problemas associados ao ensino e a aprendizagem em física. Ela é equivocada, e gerou o mito do “fez o experimento, aprendeu”, que mais impede do que propicia melhores práticas e entendimentos vinculados com a experimentação

bem sucedidas podem levar os alunos a construírem entendimentos equivocados em relação a leis e teorias; a prática pode sugerir, de forma equivocada, que a observação é isenta de pressupostos teóricos, ou seja, não é guiada por teorias e dá acesso direto a verdade; a prática pode limitar a abordagem de certos conteúdos do currículo em ciência, pois alguns tópicos exigem a realização de práticas pouco usuais para o contexto escolar; a constituição de grupo de alunos para a realização de experimentos por si só não garante que a realização da prática será bem sucedida, pois há outros fatores envolvidos no trabalho em grupo [1].

No entanto, os experimentos construídos com materiais do cotidiano e de fácil aquisição podem e devem ser empregados para promover a aprendizagem e o ensino de física mais significativos, para alunos e professores que vivem no mundo contemporâneo, marcado pela extrema valorização da aprendizagem e do conhecimento. Os experimentos, ou melhor, a

O presente trabalho apresenta uma proposta de construção do experimento denominado plano inclinado, apresentado em 1638 por Galileu Galilei na obra *Discurso e Demonstrações Matemáticas sobre as Duas Novas Ciências*. A construção é realizada com materiais que pertencem ao universo vivencial dos alunos e, por este motivo, estão impregnados de significados que podem ser ressignificados à luz da realização dessa proposta criativa, imaginativa e criadora.

sua utilização no contexto educacional, é capaz de propiciar aos alunos e professores, dependendo da abordagem de ensino, a construção de atitudes, práticas e entendimentos marcados pela flexibilidade, inventividade, interatividade, divergência, respeito ao próximo, discussões sobre as condições socioambientais em nosso planeta, ressignificação e etc. que, por sua vez, são algumas das principais características exigidas do homem pela sociedade do conhecimento.

A fim de não parecer abstrato em demasia, ou, o que é pior, afirmar algo sem apresentar argumento, a seguir, é sinalizado como o uso do experimento no ensino de física pode enfatizar, por exemplo, a divergência de pensamento. Galileu Galilei ao observar o Sol e suas manchas com sua luneta fez considerações, apoiadas pelos trabalhos de Copérnico, que contrariavam, divergiam do entendimento defendido

Alunos e os professores de Ensino Médio e Fundamental podem realizar esse experimento tanto na sala da escola quanto em casa, de modo a construir novos significados e usos a materiais que outrora lhes propiciavam entendimentos circunscritos ao universo imediato

pelos representantes da Igreja, de que a Terra era destituída de movimento e ocupava o lugar privilegiado no universo, o centro, o que causou profundas e violentas discussões e quase a sua morte na fogueira da Inquisição.

Outro aspecto merecedor de menção, expresso neste pequeno relato, além, é claro, da divergência de pensamento, é o aspecto humano do empreendimento científico. Fica nítido, por exemplo, como as crenças e convicções humanas, neste caso, de origem religiosa, influenciaram e levaram os clérigos a rejeitar a nova forma de ver o mundo proposta por Galileu e, ainda, a importância e a dificuldade de se convencer por meio de argumentos (diálogo) e não pela força e opressão, outros pensadores que têm um ponto de vista menos ajustado para explicar determinado fenômeno físico. No entanto, é necessário advertir que tais aspectos devem ser considerados, mas em hipótese alguma devem solapar a liberdade de expressão e de pensamento da qual se nutre o ser humano e, por conseguinte, o empreendimento científico [2].

Orientado por tais apontamentos, este trabalho mostra o procedimento da construção do experimento do plano inclinado, apresentado em 1638 por Galileu Galilei na obra *Discurso e Demonstrações Matemáticas sobre as Duas Novas Ciências*, realizado com materiais que pertencem ao universo vivencial dos alunos e, por este motivo, estão impregnados de significados

que podem ser ressignificados por meio da realização dessa atividade.

Vários são os motivos que contribuem para ressaltar a importância de se trabalhar tal experimento na Educação Básica e no ensino superior. Até os dias de hoje o experimento do plano inclinado é um tema controverso na história da física e, por isso mesmo, serve para ilustrar essa importante característica da atividade científica junto a alunos e professores de todos os níveis de ensino. Controverso porque desperta vivas discussões entre aqueles que defendem como, por exemplo, Maclachlan [3] e aqueles que se opõem, a exemplo de Koyré [4, 5], a ideia de que Galileu realizou o experimento do plano inclinado [6].

A forte ênfase dada por significativa parcela de professores de física de Ensino Médio aos conceitos relacionados à área de mecânica, é outro motivo. A importância histórica desse experimento no âmbito das discussões sobre os marcos norteadores da Revolução Científica dos Séculos XVII e XVIII, em particular, a indissociabilidade entre a matemática e a atividade experimental em física, denominada de física matemática [7], é mais um motivo.

Os alunos e os professores de Ensino Médio e Fundamental podem realizar esse experimento tanto na sala da escola quanto em casa, de modo a construir novos significados e usos a materiais que outrora lhes propiciavam entendimentos circunscritos ao universo imediato, seria outro motivo. De fato, este foi um dos principais motivos, senão o principal, para a construção e divulgação deste artigo, já que a proposta de montagem do experimento em questão foi realizada e bem trabalhada no ano de 2008 junto a alunos das primeiras séries do Ensino Médio da Escola Estadual Neusa Cestari, localizada na cidade de Pederneiras, interior de São Paulo, por um dos autores do presente artigo, quando trabalhava como professor efetivo em física na rede pública de ensino daquele estado, com essa finalidade.

E por fim, a montagem experimental, apresentada a seguir, se diferencia das disponíveis no mercado ao dispensar o acionamento manual do cronômetro. No entanto, é imprescindível mencionar que essa proposta experimental, como tantas outras, tem o potencial de despertar a imaginação e a elaboração de novos entendimentos tanto por alunos como por profes-

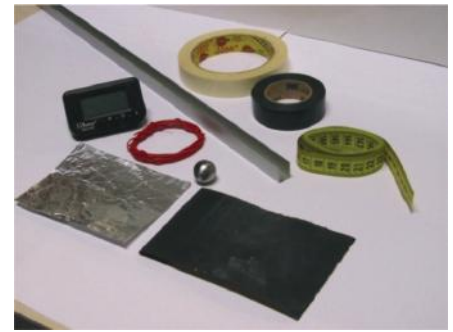


Figura 1: Materiais empregados na construção do plano inclinado: fita métrica, fita isolante, fita crepe, canaleta de alumínio, relógio digital com cronômetro, fio condutor encapado, esfera metálica, papel alumínio e lixa d'água.

sores que rompam com aqueles aqui prescritos, o que é um alívio.

A construção do plano inclinado

Materiais empregados

Os materiais empregados na montagem do plano inclinado são mostrados na Fig. 1 e podem ser encontrados com facilidade em lojas de material de construção e de aparelhos eletrônicos importados, e são os seguintes: uma canaleta de alumínio de 8 mm de largura por 2 m de comprimento; uma esfera metálica de diâmetro maior do que 8 mm; um relógio digital com cronômetro (tipo despertador); 6 m de fio flexível de cobre de 0,5 mm; fita métrica de costura; pedaço de papel alumínio; lixa d'água número 320; solda de estanho; ferro de solda (30 W); fita crepe e/ou isolante.

Montagem e utilização do plano inclinado

A construção do plano inclinado pode ser realizada adotando os seguintes procedimentos:

- Lixe toda a superfície da canaleta de alumínio que ficará em contato com a esfera metálica durante o seu movimento, para retirar a camada de óxido que impede o fechamento do circuito elétrico;
- Limpe toda a superfície da esfera metálica empregada no experimento, para que haja condução elétrica entre a esfera e a canaleta de alumínio, que farão parte do circuito elétrico;
- Cole um pedaço de 4 cm de fita crepe na extremidade da canaleta que será utilizada como ponto de partida do rolamento da esfera metálica (Fig. 2), de modo a encobrir (isolar) um pedaço de um lado da canaleta de alumínio pela qual a esfera metálica se movimentará;
- Corte o fio flexível em 3 pedaços: dois

- pedaços com 2 m e um pedaço de 2,5 m;
- Faça uma conexão entre uma extremidade do fio de 2,5 m e uma extremidade de um dos dois fios de 2 m e, em seguida, prenda (enrole) essa junção a uma fatia de papel alumínio de dimensões de 3 cm por 5 cm, deixando uma grande parte dessa fatia livre para ser presa na canaleta metálica. Em seguida, afixe essa fatia de papel alumínio sobre a fita crepe presente na canaleta (posição A), sem que o papel alumínio toque a canaleta de alumínio;
- Lixe uma região da canaleta próxima a extremidade onde está afixada a fita crepe. Na sequência, conecte nessa região uma das extremidades do outro fio de 2 m (aquele que não está preso ao fio de 2,5 m) com fita crepe;
- Identifique o botão responsável pelo início e pela pausa da contagem do tempo no cronômetro do relógio digital. Abra o relógio digital e localize as trilhas da placa de circuito integrado abaixo desse botão. A cada uma dessas trilhas solde, com muito cuidado, um dos dois fios flexíveis de 2 m que, anteriormente, tiveram suas extremidades conectadas à canaleta com o objetivo de fechar o circuito elétrico que mede o tempo (Fig. 2), ou seja, aciona a tomada de tempo (posição A);
- Pegue a extremidade livre do fio de 2,5 m e prenda uma nova fatia de papel alumínio, que deve estar sobre um pedaço de fita crepe de dimensão maior. Essa extremidade, representada pela posição B (Fig. 2), servirá como terminal para abrir o circuito elétrico do qual faz parte o cronômetro do relógio digital e, portanto permitirá a tomada final de tem-

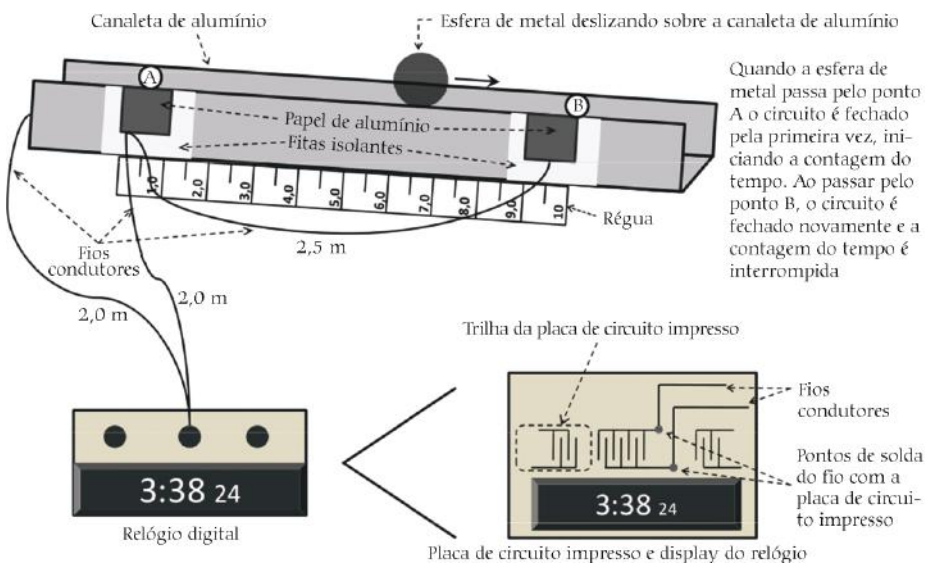


Figura 2: Esquema ilustrativo de montagem do plano inclinado.

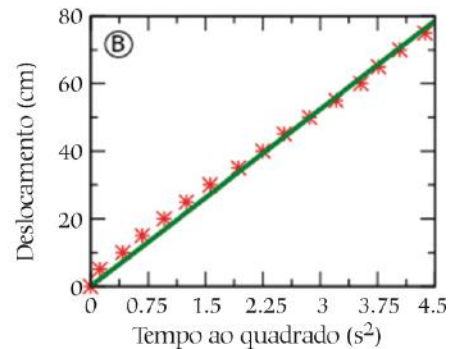
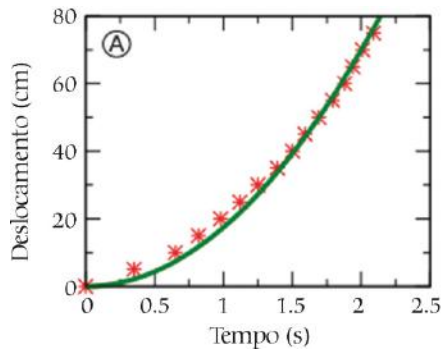


Figura 3: Relação entre o deslocamento da esfera em função do tempo (A) e em função do tempo elevado ao quadrado (B). Os pontos em vermelho são dados experimentais e as curvas cheias, em verde, são os ajustes feitos.

- po, nas mais diferentes posições ao longo da canaleta de alumínio;
- Por fim, prenda a fita métrica na lateral da canaleta (utilize fita crepe) tendo o cuidado de ajustar o zero da fita métrica com o início da fatia de papel alumínio afixado à fita crepe (posição A), pois é em tal ponto que se inicia a tomada de tempo.

Com a montagem ilustrada na Fig. 2 é possível, dentre outras possibilidades, estudar a relação entre o deslocamento da esfera metálica e o tempo. Neste caso o professor e/ou o aluno podem proceder da seguinte forma: coloque a extremidade do fio de 2,5 m em uma determinada posição ao longo da canaleta como, por exemplo, 5 cm. Segure a esfera metálica bem próximo do zero na fita métrica sem deixar que esta toque o papel alumínio. Com o cronômetro zerado solte a esfera. Esta descerá e no início de seu movimento

fechará o circuito disparando a contagem do tempo, que será parado ao final do trajeto quando a esfera metálica tocar a extremidade do fio de 2,5 m, abrindo o circuito elétrico. Este procedimento pode ser realizado várias vezes em uma mesma posição e para outras posições.

A realização de tal procedimento permite a constituição de dados que podem expressar a relação de deslocamento vs. tempo no movimento uniformemente variado. Na Fig. 3 apresentamos os dados coletados em formato de gráfico, ilustrando a relação entre o deslocamento da esfera (D) em função do tempo (t) (Fig. 3-A) e em função do tempo ao quadrado (Fig. 3-B). Os pontos na forma de asteriscos são os resultados experimentais e as linhas cheias são os ajustes feitos. Por meio destes resultados observamos claramente a relação quadrática do deslocamento em relação ao tempo que se ajusta bem a uma curva do tipo $D(t) = at^2$, sendo a uma constante. Para o ajuste linear obtivemos sucesso ao utilizarmos uma função do tipo $D(t') = bt'$, com $t' = t^2$.

Considerações finais

Dentre as outras possibilidades esta montagem do plano inclinado permite estudar a relação entre o as grandezas físicas tempo, deslocamento e angulação do plano inclinado, mas não é só. Ele permite também que o professor e os alunos debatam o relação entre ciência e religião, ao se resgatar o contexto histórico no qual vivia Galileu Galilei. Abre a possibilidade para que o aluno possa elaborar previsões, observações, explicações e hipóteses quanto a relação entre deslocamento e tempo.

Este experimento também propicia a análise dos limites de queda livre e movimento retilíneo uniforme, apenas modificando a angulação do plano inclinado. Estas propostas de montagem, no entanto, ficam como desafio para os professores e alunos,

já que requerem criatividade, inventividade e novos entendimentos de ambos.

Enfim, tal experimento se mostra particularmente útil ao ensino e aprendiza-

gem em física tanto no Ensino Fundamental quanto no Ensino Médio e, portanto, de desejável realização pelos alunos e professores desses níveis de ensino.

Agradecimentos

Agradecimento especial ao Jeverson Cardoso da Silva, técnico de laboratório do Instituto de Física da UFG, pelo auxílio na montagem do experimento.

Referências

- [1] J. Wellington, in: *Secondary Science: Contemporary Issues and Practical Approaches*, organizado por J. Wellington (Routledge, Londres, 2010), p. 135-145.
- [2] G. Holton, *Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas* (Editorial Reverté, Barcelona, 2004).
- [3] J. MacLachlan, *Galileu Galilei: O Primeiro Físico* (Companhia das Letras, São Paulo, 2008).
- [4] A. Koyré, *Estudos de História do Pensamento Científico* (Forense Universitária, Rio de Janeiro, 1991).
- [5] A. Koyré, *Estudos Galilaicos* (Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1992).
- [6] P. Thuillier, *De Arquimedes a Einstein: A Face Oculta da Invenção Científica* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 1994).
- [7] M. Motta, in: *Do Mundo Fechado ao Universo Infinito*, organizado por A. Koyré (Forense Universitária, Rio de Janeiro, 2010), p. I-XIII.

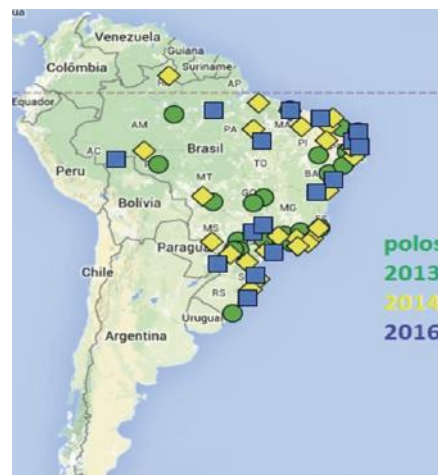
Saiba mais

- B. Cohen, *O Nascimento de Uma Nova Física* (EDART, São Paulo, 1967).
L. Geymonat, *Galileu Galilei* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1997).



MNPEF em notícia

- Foram encerradas as seleções de candidatos para as turmas de 2017 dos cerca de 60 polos espalhados por todo o país.
- Lívio Amaral (IF-UFRGS) é o novo Pró-Reitor do Programa.
- Silvio Salinas (IFUSP) e Silvana Peres (DF-UFFPA) são os novos membros do Conselho e da CPG, respectivamente.
- Cerca de 230 dissertações já foram defendidas em 2015 e 2016.
- Foi distribuída razoável quantidade de livros para compor biblioteca especializada de apoio aos polos, além da distribuição gratuita do box de 5 livros a todos os professores e alunos.
- Novo portal do MNPEF está em fase de implantação.
- A IV Escola Brasileira de Ensino de Física, destinada aos docentes do MNPEF será realizada na UESC-Ilhéus no período de 25 a 29 de setembro de 2017.



Acesse nossa página do facebook: <https://www.facebook.com/mnpef/>

Contribuições da criação e uso de um *blog* com foco no ensino de física

Física...em Construção

Alex Farias

Mapa do Site

Astronomia

Chat-Física

Experimentos

Links

Planos

Postagens

Vídeo Aulas

3º Ano

Mapa do Site

INTERCONECTADOS

(...)O mundo caminha para tornar-se uma

.....
Francisco Alex de Oliveira Farias
Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física, Universidade
Estadual do Ceará, FECLESC, Quixadá,
CE, Brasil
Email: alex.farias@aluno.com.br

Gladeston da Costa Leite
Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física, Universidade Esta-
dual do Ceará, FECLI, Iguatu, CE,
Brasil
Email: gladeston.leite@uece.br
.....

Introdução

As dificuldades encontradas no ensino de ciências, em especial, tratando-se da física na educação básica, tem contribuído para que muitos professores busquem alternativas para superar ou ao menos minimizar tais limitações, sendo a inclusão das novas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) uma possibilidade.

É necessário reconhecer que não basta colocá-las dentro da escola; sua eficácia depende dos atores envolvidos que devem conhecer seus pontos positivos e suas limitações, admitindo que o uso das TIC por si não resolve todas as dificuldades de aprendizagem.

Nessa conjectura, mostra-se importante a investigação da utilização das TIC na educação. Deste modo, temos como objetivo principal analisar de forma sucinta o impacto para a aprendizagem da criação e uso de um *blog* voltado para o ensino de física, visto que entre essas novas ferramentas, esse recurso tem sido cada vez mais difundido.

Referencial teórico

Os *blogs* são utilizados de diversas formas e na educação vêm ganhando um papel importante como forma de comunicação. A cada dia cresce o número de educadores que os usa como forma de tornar as aulas mais atrativas. Para Oliveira [1], o seu uso potencializa a interação entre os envolvidos, incentivando o pensamento crítico e a capacidade de argumentação, além de estimular o aprendizado extraclasses de forma lúdica.

De acordo com Pereira [2], quando o

professor cria um *blog*, ele abre espaço para inovar e reinventar suas ideias, baseando-se no que é tratado em sala de aula. A facilidade na incorporação de recursos incentiva a criatividade e possibilita o desenvolvimento de uma aula rica e interessante, sendo uma ferramenta eficaz para utilização no contexto educacional.

Para Pontes e Filho [3], o *blog* é uma ferramenta que possibilita a participação dos usuários da internet por meio de canais colaborativos, onde ele pode ser receptor, emissor ou produtor de conhecimento, atuando como autor, interagindo e socializando suas ideias em um espaço dinâmico e interativo.

Os blogs são utilizados de diversas formas e na educação vêm ganhando um papel importante como forma de comunicação. Seu uso potencializa a interação entre os envolvidos, incentivando o pensamento crítico e a capacidade de argumentação, estimulando o aprendizado extraclasses de forma lúdica

Diante do exposto, iniciamos uma pesquisa para analisar de forma concisa as contribuições da concepção e uso de um *blog* voltado para o ensino de física com uma proposta de colaboração entre professores e estudantes na busca por uma aprendizagem mais eficiente.

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida com alunos de duas turmas da 3ª série do Ensino Médio na escola EEFM Francisco Soares de Oliveira. A instituição faz parte da rede estadual de educação do Ceará e está localizada no município de Pires Ferreira, região Norte do estado. O trabalho envolveu sessenta estudantes do turno da tarde, com discentes em cada turma.

Inicialmente foi feito um breve estudo bibliográfico sobre a utilização das TIC e sobre a importância do uso de *blogs* na educação, mais especificamente nas aulas de física do Ensino Médio. Em seguida, foi aplicado um questionário-diagnóstico sobre a familiaridade dos discentes frente a essas

O intuito do trabalho é analisar as contribuições educacionais da criação e uso de um *weblogger* voltado para o ensino de física. A pesquisa foi realizada em uma escola estadual do Ceará, com alunos da terceira série do Ensino Médio. Inicialmente foi criado o *blog Física... Em Construção*, com o objetivo de oferecer suporte aos conteúdos curriculares com uma metodologia diferenciada, onde o *blog* assumiria o papel de intermediador. Os resultados apontam indícios no incremento de aprendizagem nos temas mediados pelo *blog*.

novas ferramentas digitais e o que consideram relevante em uma página voltada para o ensino de física. As respostas contribuíram com o desenvolvimento do *blog*.

No *blog* foram criadas e expostas 12 aulas sobre eletrostática, visto que esse era o conteúdo curricular das turmas participantes da pesquisa. Cada aula envolvia alguns dos recursos inseridos no *blog*. A partir da página 3º Ano, os estudantes tinham acesso à programação completa com as orientações sobre os caminhos que deveriam seguir e as atividades a realizar naquele período.

A Fig. 1 mostra como ficou a página inicial do *blog*, intitulado *Física... Em Construção*. A página oferece bastante interatividade e dá acesso a diversos recursos e assuntos presentes no *blog*, como for-

mulários, planos de aula, *slides*, experimentos, vídeo-aulas, *bate-papo* e fóruns. Nessa interface pode ser acessado também o manual de utilização do site.

Com o uso do *blog*, os discentes interagiam através do *bate-papo*, publicavam suas ideias, respondiam tarefas em formulários e acessavam diversos outros recursos sobre os assuntos abordados nas aulas. Alguns trabalhos foram realizados em casa por intermediação do *blog*. A Fig. 2 mostra a realização de atividades com o uso do *blog* no laboratório de informática da escola.

Notou-se que o uso das mídias digitais tornaram as aulas mais interativas e dinâmicas, abrindo a possibilidade para o professor inovar em sua prática em um ambiente de colaboração e protagonismo que aproxima professores e alunos

Resultados e discussões

Ao final da aplicação da pesquisa os alunos avaliaram a importância em sua aprendizagem do uso do *blog Física... Em Construção* e seus recursos, respondendo a um questionário com dez perguntas

usando a escala de Likert, analisando seu grau de concordância em relação à utilização desse meio e uma pergunta onde descreveram os pontos positivos e negativos do uso desse ambiente. A Tabela 1 mostra o resumo

das respostas em relação ao nível de concordância com o uso do *blog*.

A análise dessas respostas deixa evidente que os estudantes aprovaram a utilização dessa ferramenta. Nesse questionário foi observado que a maioria dos discentes concordou que o uso desse ambiente contribuiu em sua aprendizagem, chegando a 65,1% os que aprovaram e apenas 4% os que discordaram. Já em uma escala de 1 a 5 em nível de importância, os recursos inseridos no *blog* foram avaliados com nota 4 ou 5 por 64,5% dos entrevistados.

Os estudantes são bastante receptivos à inserção do *blog* e seus múltiplos recursos, o que favorece a adição dessa ferramenta nos processos de ensino-aprendizagem; dessa forma, a concepção e uso de um *blog* educativo pode criar ambientes dinâmicos e participativos onde os alunos estão familiarizados, sendo, portanto, um importante instrumento para o professor utilizar em suas aulas.

O emprego dessa proposta oferece a oportunidade de inserir diversos recursos digitais que podem enriquecer as aulas com uma quantidade de detalhes que só esses meios são capazes, melhorando a assimilação do conhecimento e oportunizando ao professor trabalhar os conteúdos presentes no currículo de forma mais contextualizada e globalizada, através da inclusão e discussão de assuntos que nem sempre é possível nas aulas tradicionais.

Notou-se que a aplicação de vídeos, artigos, imagens, *slides*, animações, espaço para publicação dos estudantes e o *bate-papo* incorporado ao *blog* tornaram as aulas mais interativas e dinâmicas, abrindo a possibilidade para o professor inovar em sua prática em um ambiente de colaboração e protagonismo que aproxima professores e alunos. Na Fig. 3 vemos um exemplo da interação ocorrida através do *Bate-Papo-Física* que permitiu a comunicação em tempo real entre os envolvidos.

O desenvolvimento do *blog* apresen-



Figura 1: Página inicial do *blog*.



Figura 2: Atividades utilizando o *blog* no laboratório de informática da escola.



Figura 3: Interação através do *Bate-Papo-Física* inserido no *blog*.

tou-se ainda como um espaço de cooperação e discussão, contribuindo nas ações pedagógicas através da inclusão de recursos, que vão de encontro às necessidades dos estudantes, sendo eficaz para atingir bons resultados e também desenvolver habilidades e competências de colaboração, visto que a interação é constante com a utilização desse recurso.

Considerações finais

Percebe-se, que as TIC ganharam um importante papel e estão presentes em todos os âmbitos da sociedade. Atualmente vivemos a era dos “nativos digitais” onde o meio virtual é o âmbito natural dessa nova geração; portanto, torna-se imprescindível a inclusão das mídias digitais dentro dos

métodos e processos educativos, sendo o uso do *blog* uma alternativa bastante atrativa e que pode trazer colaboração significativa para a melhoria no ensino de ciências.

Se usado de maneira adequada, o desenvolvimento e uso do *blog* traz grandes contribuições para o ensino de física, colaborando com as mudanças exigidas nas práticas pedagógicas atuais através da inclusão de recursos que tornam os assuntos estudados mais interessantes e significativos.

Assim, como já mencionado, o uso do *blog* relaciona-se com diversos aspectos teóricos e metodológicos; no entanto, um dos aspectos fundamentais consiste na mediação do professor. O ambiente, por mais rico e construtivo que seja por si só, não é suficiente para promover contextos propícios para a construção do conhecimento.

Conclui-se, com esse estudo, que o uso do *blog* satisfaz a maioria dos envolvidos na pesquisa, pois oportunizou aulas diferenciadas e mais agradáveis, instituindo-se como um ambiente de autonomia, colaboração, interação, reflexão e convívio em grupo, favorecendo, portanto, a melhoria na aprendizagem de ciências e a socialização do conhecimento científico, sendo uma excelente opção para o professor aplicar em suas aulas.

Tabela 1: Questionário avaliativo.

	C	CP	D	DP	NCD
Você acredita que o ambiente criado com o <i>blog Física... Em construção</i> colaborou para sua aprendizagem em física no Ensino Médio?	74.1%	19%	3.4%	1.7%	1.7%
A partir da utilização do ambiente e seus recursos, sentiu-se mais motivado a estudar física?	52.6%	38.6%	0%	1.8%	7%
Estudar utilizando os recursos disponibilizados no <i>blog</i> tornou as aulas de física mais interessantes e proveitosas?	66.1%	30.4%	1.8%	1.8%	0%
O uso do <i>Blog Física... Em construção</i> possibilitou um maior aproveitamento no seu tempo de estudo em física?	64.9%	28.1%	0%	5.3%	1.8%
O ambiente <i>Física... Em Construção</i> tem uma boa aparência gráfica, com imagens, textos, vídeos chamativos?	64,9%	28.1%	0%	1.8%	5.3%
C – Concordo; CP – Concordo em parte; D – Discordo; DP – Discordo em parte; NCD – Não concordo nem discordo					
	Grau de importância				
	1 menor				5 maior
	1	2	3	4	5
De forma geral os recursos inseridos no <i>blog</i> tiveram influência para sua aprendizagem em física?	3,5%	12,3%	21,1%	21,1%	42,5%
As vídeo-aulas disponibilizadas no ambiente contribuíram em sua aprendizagem sobre eletricidade?	1,8%	5,3%	33,3%	15,8%	43,9%
As aulas disponibilizadas em apresentações em PPT (<i>slides</i>) através do <i>blog</i> ajudaram em sua aprendizagem?	0	17,5%	22,8%	21,1%	38,6%
Os textos de apoio contidos no <i>blog</i> foram eficazes para que compreendesse os conceitos estudados durante as aulas?	3,5%	15,8%	17,5%	26,3%	36,8%
A interatividade proporcionada com o <i>blog</i> facilitou sua aprendizagem em física?	5,3%	3,5%	21,1%	33,3%	36,8%

Tabela 1: continuação

Questão descritiva – Algumas respostas

Com suas palavras descreva como o uso do blog *Física... Em construção* impactou em sua aprendizagem sobre eletricidade, relate os pontos positivos e negativos de sua aplicação.

- Foi diferente das outras aulas normais foi uma aula diferenciada com os recursos deu para entender melhor os conteúdos.
- Deixou as aulas melhores, incentiva mais pelo uso da internet, uma aula bem diferenciada e boa. Pontos negativos é que nem todos tem o acesso, por que nem todos tem internet em casa. Pelo celular é ruim de pesquisar e responder as questões. Eu não tenho computador e pelo celular é ruim.
- É muito importante, pois nos ajudou no incentivo e como no dia a dia de hoje os jovens estão sempre conectados é muito mais fácil.
- Sim, pois esse *blog* ajudou muito a todos nós alunos por que ele trazia informações importantes dos capítulos que estudamos, como a eletricidade que é uma coisa que precisamos dela no nosso dia a dia, pois ela é muito importante sem ela a gente não seria nada.
- Aprendi bastante sobre a eletricidade, com os vídeos, slides, o *blog* facilitou muito minha aprendizagem. Com o *blog*, tive facilidade em ver, por exemplo, como um corpo, ficava com cargas negativas ou positivas.
- O *blog* ajudou, pois constam, informações, exercícios, exemplos, vídeos, imagens que nos possibilitou uma aprendizagem diferente. Mas uma dificuldade a tudo isso, é o acesso à internet.
- É bom, por que fica fácil das pessoas aprenderem, a explicação é ótima. Foi muito bom estudar com o *blog*.
- Bom, o uso do *blog* na aula facilita um pouco minha aprendizagem, mas tem vezes que o professor pede pra fazer atividade do *blog* em casa, porém nem todos tem internet em casa.

Referências

- [1] R.M.C. de Oliveira, in: *12º Congresso Internacional de Educação a Distância* (ABED, Florianópolis, 2005), p. 1-10.
[2] N.I. Pereira, *Escola e Blogs de Professores: Do que Depende o Sucesso Dessa Parceria?* (NetSaber, Ibirama, 2009).
[3] R.L.J. Pontes, J.A. de C. Filho, in: *Anais do XXII SBIE - XVII WIE*, Aracajú, 2011, v. 22, n. 17, p. 2-7.



Encontro de Ensino de Ciências por Investigação

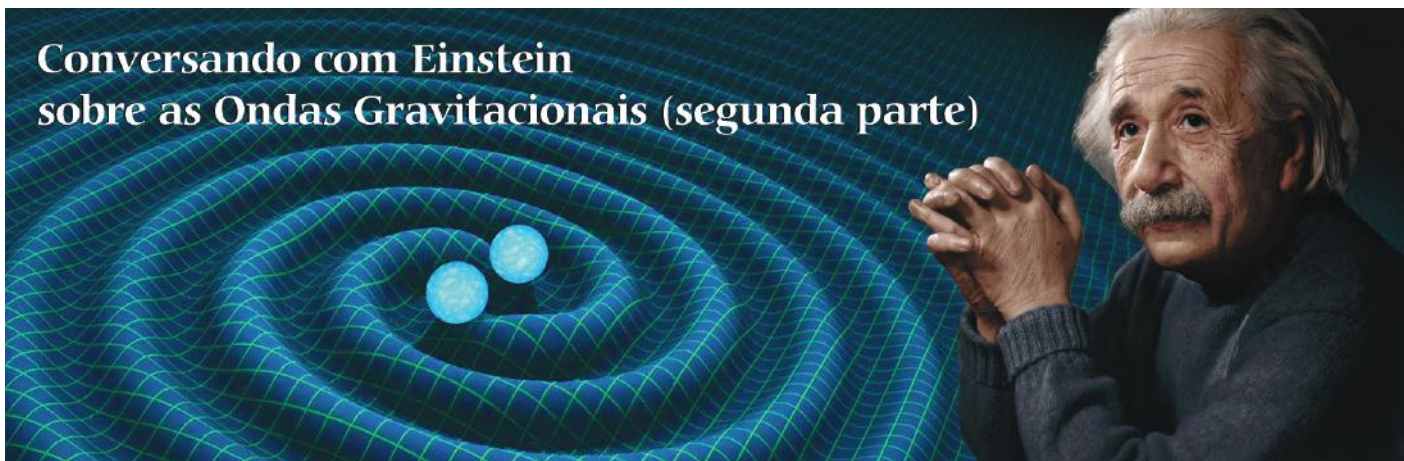
Local: Faculdade de Educação da USP
Período: 15 a 17 de maio de 2017
Promoção: LaPEF-FEUSP

Neste encontro, discussões em conferências, mesas redondas e apresentação de pôsteres estarão voltadas aos interessados ao tema do ensino de ciências. Os debates enfatizarão aspectos do planejamento, da implementação e da avaliação do ensino por investigação na educação básica.

Na página do evento também há mais informações sobre inscrições e como submeter trabalhos.

www.fe.usp.br/eneci

Conversando com Einstein sobre as Ondas Gravitacionais (segunda parte)



.....
Alexandre Medeiros

Departamento de Física, Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Recife,
PE, Brasil

E-mail: alexmed.df@gmail.com
.....

Terminado o almoço em Galinhos, após a primeira parte da nossa conversa com o velho Albert, na qual ele nos contara suas lembranças sobre as origens da Teoria da Relatividade Geral e a questão de sua Constante Cosmológica que é a avó da Energia Escura, nós nos encaminhamos novamente para a parte de fora do restaurante para continuarmos o nosso animado papo com o velhinho.

Eu continuo com a preocupação de ouvir dele um pouco mais sobre suas ondas gravitacionais, as quais ele apenas se referiu de forma muito breve, até agora. Preciso fazê-lo mudar nesta direção a conversa, mas ainda não sei como fazer.

Talvez também querendo mudar o rumo da prosa; mas não necessariamente com a mesma intenção minha de direcionar o papo diretamente para as Ondas Gravitacionais, nosso amigo Cyrano observa que o velho Albert havia sido muito preciso, antes do almoço, ao citar as datas em seu último relato sobre como encontrara as suas Equações de Campo e lhe pergunta se isso teria sido apenas um detalhe ou se haveria alguma razão especial para ele ter feito isso.

Entretanto, após essa sutil observação do Cyrano, eu e o Charles Robert trocamos um olhar que denota o nosso visível receio de uma possível reação mais emocional do velho Albert que agora permanece subitamente em silêncio, como se não houvesse ouvido a pertinente observação feita pelo nosso perspicaz amigo camarônês.

O silêncio torna-se incômodo e nosso amigo holandês Van Borbha; notando também que há algo estranho no ar; tenta desanuviar o ambiente.

- Se o senhor preferir não comentar essa questão das datas mencionadas pelo Cyrano; pode seguir em frente com sua narrativa que ela está muito interessante.

O velho Albert, porém, permanece

ainda em silêncio e o Charles Robert resolve intervir com claro receio da delicada questão que ele sabe que o Einstein tem de tocar.

- Herr Einstein, como o Alexandre disse no início de nossa conversa, eu escrevi um livro defendendo o senhor das infames acusações que lhe foram lançadas por alguns de seus detratores.

Ao ouvir isso, o velho Albert levanta os olhos e lança um olhar de simpatia ou gratidão para o Charles Robert.

- Eu sei! Eu li seu livro recentemente na Internet e me diverti muito com suas ironias a respeito daquela absurda acusação de plágio que lançaram contra mim. Mas, o episódio que você bem romanceou, de forma irônica, está ligado às acusações infames que foram lançadas contra mim a respeito da origem da Relatividade Restrita e nós temos de admitir que aquela estória do tal Olinto de Pretto era mesmo digna do riso de tão ridícula. Eu nunca me importei muito com aquilo. Só os tolos dariam crédito àquela loucura, embora eu repita que me diverti bastante com a leitura do seu livro. Mas, o caso das datas que eu mencionei de 1915 e de 1916 é algo bem mais importante e que realmente me incomodou por algum tempo.

- Eu não estou entendendo nada - Sussurra Calina; sentada junto ao Charles Robert. Quem é esse tal de Olinto de Pretto e que negócio é esse das datas? - Sussurra ela bem baixinho.

O Charles Robert fala bem baixinho ao ouvido de Calina:

- Olinto de Pretto foi um engenheiro italiano sobre quem alguns infames detratores inventaram uma estória absurda a respeito de um suposto plágio que o Einstein teria cometido de uma obra desse tal sujeito. Eu escrevi um divertido livro sobre isso mostrando a farsa contida naquelas torpes acusações lançadas contra o Einstein. E as datas de 1915 e 1916 estão relacionadas com outra acusação posterior de

Apresentamos neste texto, de uma forma leve e introdutória, a complexa questão das origens históricas da Teoria da Relatividade Geral de um modo pretensamente divertido como uma entrevista fictícia com Albert Einstein. Neste contexto discutimos o conceito da constante cosmológica e preparamos o terreno para que em um artigo seguinte, a ser publicado na próxima edição da revista FnE como uma sequência desta conversa construída; possamos enveredar pela discussão do tema das ondas gravitacionais, desde a sua histórica concepção até a sua recente detecção observacional.

plágio ainda mais forte. Acusações de que o Einstein teria plagiado o matemático David Hilbert na sua formulação da Relatividade Geral. O assunto é realmente delicado. O Cyrano, talvez sem querer; tocou em um ninho de vespas. Acho que o Einstein vai dizer algo sobre isso. Espere!

- Mas, Herr Einstein - Digo eu, que até então havia interferido muito pouco na conversa - Todos nós sabemos que o Hilbert jamais reivindicou qualquer primazia a respeito do seu trabalho e que isso foi feito por outros detratores ainda mais infames e sem o devido cuidado ou respeito com o senhor e pela sua obra.

O velho Albert olha reconfortado em minha direção e me diz:

- Realmente esse é um assunto que eu preferia não comentar; mas já que Monsieur Bahr Etto me perguntou sobre as tais datas; eu tenho de dizer que eu as mencionei justamente para que essas dúvidas não fossem levantadas. De todo modo, embora meu colega da Universidade de Ber-

lim, o grande matemático David Hilbert; tenha publicado suas Equações do Campo Gravitacional um pouco antes de mim, ele as corrigiu devidamente apenas depois que eu publiquei o meu trabalho.

- E como eu enfatizei, antes; Herr Einstein, o Hilbert jamais reivindicou qualquer tipo de primazia a esse respeito. Logo, o senhor pode prosseguir tranquilamente a sua narrativa.

Cyrano, preocupado com o inesperado incômodo gerado pela sua pergunta vai até o balcão e traz um suco de mangaba bem gelado e o oferece ao velho Albert que já falara bastante até então.

O Albert agradece e bebe lentamente o suco bem gelado; arregalando os olhos e sorrindo.

- Que maravilha é essa, Monsieur Bahr Etto?

- É mangaba, Herr Einstein! Uma fruta que só tem aqui no Nordeste.

- Deliciosa! Tem mais um pouco?

- Certamente! Vou buscar outro copo para o senhor.

- Continue sua história, Herr Einstein. Ela está muito interessante. - Diz Carlos Reys - E todos balançam a cabeça concordando com ele.

Albert toma lentamente seu segundo copo de suco de mangaba e dá um sorriso tranquilizador.

- Tudo bem! Vamos, então, ao ponto sobre o qual vocês me pediram no início de nossa para que eu falasse: as Ondas Gravitacionais. Minha primeira referência clara às Ondas Gravitacionais surgiu já

em fevereiro de 1916 e foi o resultado de uma troca de cartas com o astrônomo Karl Schwarzschild. Nessas cartas eu ainda expressei meu ceticismo sobre a existência de tais ondas. O primeiro artigo sobre Ondas Gravitacionais no contexto da Teoria da Relatividade Geral foi intitulado *Integração aproximada das Equações do Campo Gravitacional* e eu o apresentei em 22 de junho de 1916 à Academia Prusiana de Ciências, em Berlim. Entretanto, por muitos anos, eu mesmo e muitos outros físicos, ainda permanecemos inseguros sobre a existência física real das referidas ondas.

- Mas, como o senhor contornou os problemas matemáticos e conceituais enfrentados àquela época? - Questiona o nosso amigo Van Borbha.

- Bem, Mr. Van Borbha, com a morte do Schwarzschild ainda na Primeira Guerra Mundial, em maio de 1916, eu só voltei a tocar no tema das Ondas Gravitacionais após haver recebido uma carta do astrô-

nomo Willem De Sitter. Foi com o De Sitter que eu percebi que um obstáculo matemático que me impedira de perseguir as ideias do Schwarzschild poderia ser superado. Assim, em junho de 1916, eu publiquei um artigo complementando minha Teoria recente das Equações do Campo Gravitacional no qual previ matematicamente a existência das Ondas Gravitacionais que deveriam viajar com a velocidade da luz e até derivei uma fórmula para a emissão das mesmas.

- E então, desse modo, o senhor finalmente acertou a mão na previsão da existência das Ondas Gravitacionais. - Diz Calina sorrindo.

- Infelizmente ainda não, madame Cacá. Eu cometi outro erro. Risos...

- O que? O senhor cometeu outro erro? E eu pensava que o senhor nunca tinha errado nada em Física e que apenas nós, mortais comuns, é que errávamos todo dia.

O velho Albert dá um sorriso largo e responde:

- Só não erra quem não tenta! Esse meu texto continha um erro significativo, que eu só consegui corrigir dois anos depois, já em 1918. Ao derivar a fórmula para a emissão das Ondas Gravitacionais eu percebi que elas eram muito fracas para serem observadas com a tecnologia que nós dispúnhamos então.

- E deste modo, o senhor conseguiu finalmente obter os resultados corretos e definitivos sobre as tais Ondas Gravitacionais? - Pergunta Cyrano.

- Infelizmente, ainda não, Monsieur Bahr Etto. Meus cálculos envolviam uma aproximação que tornava a minha Teoria da Relatividade Geral muito semelhante formalmente à bem estabelecida Teoria do Campo Eletromagnético. Mas, essa minha aproximação, assim como parte de minhas previsões calculadas a partir de mesma foram duramente criticadas por muitos colegas físicos, principalmente pelo astrônomo inglês Arthur Eddington que era um dos maiores defensores da Teoria da Relatividade Geral.

- Mas, o Eddington não foi exatamente o responsável pelas observações do famoso eclipse solar de 1919 que serviu para corroborar sua Teoria? - Diz Carlos Reys.

- Sim, foi ele mesmo, Dom Carlos! Em 1919, o Eddington conseguiu a primeira grande confirmação observacional de uma das minhas previsões da Teoria da Relatividade Geral; a de que a luz, de fato, se curva na presença do campo gravitacional do Sol, como eu havia previsto; mas, apesar disso as Ondas Gravitacionais permaneceram ainda uma dúvida. Eu mesmo, apesar dos meus cálculos não estava convencido de sua existência.

- E quando, afinal, o senhor resolveu essa sua dúvida? - Pergunta Van Borbha.

- Na verdade, eu ainda persisti com ela durante muito tempo. Para que o senhor tenha uma ideia da dificuldade suscitada em minha mente, em 1936, eu e meu assistente Nathan Rosen escrevemos um trabalho questionando a existência das Ondas Gravitacionais e nossa posição foi, naquela ocasião, contrária à sua existência. Seu título era exatamente *Do Gravitational Waves Exist?*; ou em português: *Existem as Ondas Gravitacionais?* Mas, curiosamente, ao submetermos o nosso artigo à publicação na *Physical Review*; um *referee* apontou um erro no mesmo.

- Outro erro, Herr Einstein? Diz Calina um tanto assustada.

- Sim, madame Calina! Outro erro! Mas, dessa vez, eu não tive muita paciência em aceitar a forma como a correção havia sido feita e mesmo alterando o artigo, nós resolvemos publicar o mesmo em outro periódico, o *Journal of the Franklin Institute* e com uma conclusão completamente diferente daquela à qual havíamos chegado inicialmente no artigo original e com um título mais cauteloso: *On Gravitational Waves* ou em português: *Sobre as Ondas Gravitacionais*; deixando, porém agora a questão de sua existência em aberto. Na verdade, mesmo em 1936, eu ainda não estava convencido mesmo da existência das Ondas Gravitacionais.

- O senhor oscilou bastante nesse meio tempo a esse respeito, não foi? - Digo

Em 1936, eu ainda não estava convencido mesmo da existência das Ondas Gravitacionais

eu cautelosamente.

- É verdade! Já em 1916, como eu contei antes, eu formulara a existência das Ondas Gravitacionais como parte integrante inicial da minha Teoria da Relatividade Geral; mas quando eu mergulhei mais profundamente na matemática envolvida, eu fui levado a pensar que elas não deveriam existir. E pelas duas décadas seguintes eu oscilei em minhas convicções a esse respeito até achar que, de fato, elas deveriam existir.

Eu tento ser ainda mais cauteloso neste ponto, mas não consigo deixar de lembrar o velho Albert de alguns detalhes que ele parece haver esquecido em sua narrativa do caso do artigo enviado à *Physical Review* em 1936:

- Mas, qual havia sido exatamente a conclusão inicial naquele primeiro artigo que o senhor escreveu com o Rosen em 1936 e que havia sido enviado à *Physical Review*?

O velho Albert tossiu e fala lentamente:

- Veja, em uma carta que eu escrevi ao meu amigo Max Born em algum momento, não me lembro bem da data, em 1936, eu disse que: "juntamente com um jovem colaborador, eu cheguei ao resultado interessante de que as Ondas Gravitacionais não existem, embora elas tivessem sido assumidas como uma certeza em uma primeira aproximação. Isso mostra que as Equações Relativistas não-lineares do Campo podem nos dizer mais ou, pelo contrário, limitar-nos mais do que temos acreditado até agora".

- Eu li essa sua carta em seus *Collected Papers*, Herr Einstein e por isso é que lhe pergunto isso. Na verdade, o Leopold Infeld chegou para trabalhar com o senhor em Princeton exatamente nesta ocasião, em 1936 e ele escreveu em seu livro autobiográfico de 1941, intitulado *Quest*, na página 239, que ficara chocado com a conclusão à qual o senhor e o Rosen haviam chegado sobre a não existência das Ondas Gravitacionais.

- É verdade! Mas, eu lhe apresentei os meus argumentos teóricos e ele se convenceu de nossa interpretação. Ele até mesmo elaborou a sua própria versão da mesma prova; o que reforçou a sua crença no nosso resultado negativo.

O Charles Robert Des Saints entra em cena, neste momento, para tentar jogar um pouco água fria na polêmica questão que pode incomodar o nosso querido Albert.

- É verdade, Herr Einstein! O próprio Infeld reconhece isso na página 243 do livro que o Alexandre citou.

Nosso grande cientista dá um sorriso de felicidade com a observação do Charles

Robert; mas eu prefiro me arriscar um pouco mais para obter uma entrevista ainda mais substancial de nosso ilustre personagem; mesmo correndo o enorme risco de contrariá-lo e colocar tudo a perder.

- Certamente, Herr Einstein! Mas, quando o John Tate, editor da *Physical Review*, lhe devolveu o artigo com o parecer do referee; o senhor parece que não absorveu bem a crítica feita pelo mesmo. - Digo isso e fico esperando com grande receio a reação do velhinho. Entretanto, para minha surpresa, ele não se abala como fizera antes no caso da injusta acusação lançada contra ele por seus detratores no caso envolvendo o Hilbert que ele já havia anteriormente mencionado. Ao contrário, ele fala pausadamente e sem demonstrar qualquer emoção.

- Estamos em 2016 e, portanto já faz muito tempo que eu morri; em 1955. É natural que eu veja essas coisas hoje de um modo diferente e menos emotivo do que as via em 1936. Naquela época eu estava muito envolvido com aquelas ideias ainda incertas e talvez eu não tenha tido a melhor reação emocional possível às críticas recebidas.

Eu fico feliz em ouvir aquilo e noto que os amigos também ficam mais tranquilos. O Albert prossegue sua narrativa, agora de forma espontânea.

- Realmente, o Tate me escreveu em 23 de julho de 1936 comunicando a posição do *referee* e as suas críticas e me disse que ficaria feliz em saber da minha reação aos vários comentários e críticas do mesmo ao nosso artigo.

- E qual foi exatamente a sua reação, Herr Einstein? - Diz Calina, um tanto apreensiva.

- Olhe! Não foi das melhores! Não foi nada de que eu possa ainda me orgulhar hoje. Eu agi com o coração e isso nem sempre é muito sábio. Eu respondi ao Tate de uma forma um tanto prepotente ao lhe escrever textualmente: "Caro senhor, Nós (o Sr. Rosen e eu) tínhamos enviado o nosso manuscrito para publicação e não havíamos lhe autorizado a mostrar o mesmo a especialistas antes de ser ele impresso. Não vejo razão para abordar os comentários - em todo caso errôneos - de seu especialista anônimo. Com base neste incidente preferimos publicar o nosso artigo em outro

Em uma carta que eu escrevi ao meu amigo Max Born em algum momento, não me lembro bem da data, em 1936, eu disse que: "juntamente com um jovem colaborador, eu cheguei ao resultado interessante de que as Ondas Gravitacionais não existem, embora elas tivessem sido assumidas como uma certeza em uma primeira aproximação"

lugar. Respeitosamente". E assinei o meu nome; colocando ainda a observação de que o Rosen havia viajado para a União Soviética e me autorizado a representá-lo naquela questão.

- E como o John Tate reagiu a esta sua; podemos dizer "dura" resposta, Herr Einstein? Pergunta um tanto surpreso, o Carlos Reys.

- O Tate foi muito elegante comigo; mas ainda assim bastante firme. Eu, na verdade, não estava habituado aos costumes das publicações anglo-saxônicas, muito mais burocráticas que aquelas mais pessoais com as quais eu já me habituara na Alemanha. E desta forma, eu devo ter sido um tanto rude e infeliz naquela ocasião. Vendo hoje o caminho que o tema tomou, eu percebo o quanto agi de forma emocional. Tate me respondeu que lamentava a minha decisão de retirar o artigo, mas afirmou também que, como editor da revista, ele não iria anular o procedimento de revisão da mesma. Em particular, ele afirmou que "não podia aceitar para publicação na *Physical Review* um artigo que o autor não estava disposto a mostrar ao seu Conselho Editorial antes da publicação".

- Ele lhe escreveu isso, Herr Einstein? Puxa! - Diz o nosso amigo Van Borbha.

- Sim, Mr. Van Borbha! Ele me escreveu isso em 30 de julho de 1936 e a referida carta está em meus *Collected Papers*, como os senhores devem saber, eu presumo. O fato é que eu me desagradei daquele procedimento e não mais tentei publicar ali. Depois nós enviamos o nosso artigo para ser publicado, como disse antes, na Revista do Instituto Franklin da Philadelphia.

Eu tento mudar o rumo da prosa e vou direto ao ponto:

- Permita-me deixar um pouco de lado essa questão histórica mais pessoal e emotiva como o senhor hoje mesmo reconhece e que caracterizou a sua reação àquela época, Herr Einstein. Como, entretanto, o senhor veio a reformular posteriormente essa sua interpretação sobre a não existência das Ondas Gravitacionais, eu gostaria de saber exatamente o que lhe levou, em conjunto com o Rosen, a vislumbrar inicialmente aquele surpreendente resultado negativo.

- Na verdade, eu acho que o equívoco

se deu já no ponto de partida. Eu e o Rosen tínhamos a intenção de encontrar uma solução exata para as Equações de Campo da Relatividade Geral que descreviam as Ondas Gravitacionais planas, e nos vimos incapazes de fazê-lo sem a introdução de singularidades para os componentes da métrica que descreve a referida onda. Como resultado nós achamos que poderíamos mostrar que nenhuma solução regular periódica do tipo ondulatório seria possível para as referidas Equações. Ou seja, que as Ondas Gravitacionais não deveriam existir.

- E como foi exatamente a forma como o senhor veio a mudar de opinião a esse respeito? Eu pergunto isso tanto do ponto de vista mais técnico, como também no sentido de saber o que foi aquilo que possivelmente o tenha influenciado na sua mudança de interpretação. - Pergunta, novamente o Carlos Reys.

- Veja, Dom Carlos; não é fácil encontrar uma resposta precisa para a origem das nossas próprias ideias e de nossas mudanças interpretativas assumidas. Às vezes, ao comunicarmos uma ideia que tivemos, nós reengendramos o percurso psicológico da gênese da mesma; de modo que o nosso contexto da justificativa das nossas ideias nem sempre coincide com o contexto de sua descoberta ou de sua elaboração. O Poincaré falava muito sobre essa dimensão intuitiva, por vezes inalcançável, de nossa mente criadora. E na juventude, eu li muito as coisas do Poincaré; especialmente o seu maravilhoso livro "La Science et l'Hypothèse".

- Mas, Herr Einstein, mesmo se o senhor pudesse elaborar agora uma possível reconstrução racional dos eventos ocorridos naquela ocasião, para usar a clássica expressão do Imre Lakatos, isso já nos seria algo muito valioso, nestas circunstâncias; mesmo que não possamos garantir, ainda que com seu esforço de memória, qual tenha sido o verdadeiro percurso cognitivo criador seguido pelo senhor. - Digo eu, me arriscando novamente a colocar tudo a perder.

A reação do velho Albert, entretanto, é surpreendentemente tranquila. Ele tenta pausadamente reconstruir os fatos históricos ocorridos a esse respeito baseando-se em suas boas lembranças devidamente documentadas em seus Collected Papers.

- O que eu posso dizer com segurança, neste caso; é que em julho de 1936, o Howard Percy Robertson, que era também um influente estudioso da Relatividade Geral; voltara para Princeton após um ano sabático em Pasadena e, posteriormente, ele fez amizade com o Leopold Infeld que também havia chegado recentemente para

trabalhar comigo. O Robertson disse ao Infeld que ele não acreditava que o resultado negativo obtido por mim e pelo Rosen estivesse correto. Ele também examinou a tal solução que o Infeld havia elaborado após aquela nossa conversa na qual eu o convencera da validade de nosso argumento e lhe mostrou que ela estava errada. E juntos, eles descobriram também a fonte do erro. O Infeld diz isso explicitamente em suas memórias publicadas em 1941, na página 241, no livro autobiográfico dele, o *Quest*, que você e o Monsieur Des Saints citaram há poucos instantes.

- Eu também li isso no livro de memórias do Infeld, Herr Einstein. - Assevera o Charles Robert.

- Pois bem! Eu não posso garantir que este tenha sido mesmo o percurso cognitivo da minha mudança de pensamento a esse respeito; mas de fato, o Infeld me mostrou a fonte do erro.

- O Infeld é um personagem enigmático que sempre viveu na sua sombra, Herr Einstein. Eu certa vez escrevi, em parceria com um amigo, o Rogério Porto, um artigo sobre a sua vida e a sua obra. Aquela influente livro *A Evolução da Física* que muitos atribuem apenas ao senhor, mas que tem a coautoria do Infeld; é algo que inspirou muita gente a fazer Física. - Digo eu.

- Na verdade, aquele livro foi escrito mesmo pelo Infeld a partir do que ele concebia como sendo a minha visão de mundo muito peculiar a respeito da Física e que não era muito diferente da visão dele mesmo. Eu li os originais daquele livro elaborado pelo Infeld e dei algumas sugestões e alguns retoques finais; mas foi uma parceria bastante assimétrica em termos de escrita e ele é realmente o principal autor do texto, ainda que inspirado em minhas ideias.

- Mas, voltando novamente ao caso das Ondas Gravitacionais, Herr Einstein. - Diz Van Borbha - Como foi mesmo que o senhor mudou de ideia? Qual foi mesmo a fonte do erro que o senhor mencionou que o Infeld lhe apontou após a conversa com o Howard Robertson? O senhor reconheceu, digamos assim, a "mãozinha" dada pelo Robertson? Risos...

Eu me espanto ao ouvir aquela pergunta direta e até mesmo um tanto atrevida feita ao velho Albert pelo nosso amigo holandês. O Carlos Reys abaixa a cabeça como quem não quer nem ver o semblante do velho ao ouvir aquilo. O Charles Robert arregala os olhos e a Calina olha apreensiva para seu professor Cyrano Bahr Etto. Faz-se, então, um silêncio apreensivo; mas, logo em seguida o velho Albert

dá um sorriso amarelo, para a nossa felicidade, e tenta explicar calmamente o ocorrido.

- Eu percebo que vocês estão aflitos em me questionarem sobre este tema; mas fiquem tranquilos, pois como eu já disse antes, o tempo me fez ver as coisas de forma diferente e as minhas atitudes emocionais tomadas naquela época não refletem a continuidade do meu trabalho na área.

Todos nós respiramos aliviados e o velho Albert, sutilmente, percebe isso.

- Vejam! Eu fiz as necessárias alterações no nosso artigo de 1936 antes de enviá-lo à Revista do Instituto Franklin em 13 de novembro de 1936. E elas eram um claro retrato de que eu havia concordado com aquilo que o Infeld havia me mostrado. Eu até anexeí uma nota ao artigo reconhecendo a ajuda recebida indiretamente do Robertson através do Infeld. É verdade que eu não fui muito explícito em explicar o que essa ajuda havia sido. Mas isso não deve ser interpretado como um gesto de ingratidão. Na verdade, eu, sempre fui muito conciso em meus escritos. Vocês se lembram do meu trabalho original sobre a Relatividade Restrita de 1905? Era muito conciso! Ia direto ao ponto!

Van Borbha volta ao ataque:

- Certamente, nós compreendemos isso, Herr Einstein. Todos nós sabemos de sua forma sempre concisa de escrever. Mas, em que consistia, mesmo, o erro detectado pelo Robertson e que influenciou a sua mudança de opinião?

- Acho que a questão principal, Mr. Van Borbha, parece que foi ele haver apontado que a singularidade poderia ser evitada através da construção de uma solução de onda cilíndrica e não plana como nós havíamos tentado.

- E o que dizer do parecer do referee da Physical Review, Herr Einstein? Ele guardava alguma semelhança com a opinião dada pelo Robertson? - Ataca mais uma vez, imprudentemente, o nosso amigo holandês, agora sem maiores receios.

- Para ser sincero, Mr. Van Borbha, eu acho que sim! Eu não devo ter compreendido bem as sugestões do referee no momento que as li apressadamente e acho que agi de "cabeça quente", como ouvi falar lá em Campina Grande. Risos...

Todos nós damos um aliviado sorriso enquanto o velho Albert prossegue espontaneamente a sua delicada narrativa histórica.

- Talvez, eu não devesse ter descartado de imediato os comentários do referee sem os analisar em maior profundidade. Foi como eu disse antes, uma reação infeliz

tomada naquela época. O referee havia observado, apropriadamente, que a métrica adotada por mim e pelo Rosen se fosse posta em coordenadas cilíndricas, poderia remover a aparente dificuldade e, portanto apontar para um resultado diferente. Ele até apontara que facilmente eu poderia observar estar assim descrevendo ondas cilíndricas. Esse relatório do referee está hoje em meus *Collected Papers* e não há porque negar isso.

- O senhor acha que o Robertson pode ter sido exatamente o tal referee anônimo, Herr Einstein? - Pergunta Calina e o Cyrano concorda com ela:

- É mesmo, Herr Einstein! Não deveria haver muitos físicos, naquela época, em plenas condições de entenderem tão bem a Relatividade Geral e em tamanha profundidade a ponto de conseguirem compreender o seu trabalho neste nível de sugestão. Parece razoável essa hipótese da Calina.

- Eu não sei, Monsieur Bahr Etto. Talvez tenha sido ele mesmo; mas se foi, ele tentou disfarçar muito bem ao escrever para o John Tate, editor da *Physical Review* e se referir ao parecer como se tivesse sido ele escrito por outra pessoa.

- Mas, isso é intrigante, Herr Einstein! - Diz Cyrano - Pareceres dados em artigos científicos são geralmente documentos reservados. Se o senhor não mostrou o tal parecer ao Robertson e eu presumo que o Tate também não tenha feito isso; como ele sabia do conteúdo do parecer?

- Eu não sei! Sinceramente, não sei e nunca me preocupei com isso. Risos... Mas, quem sabe? Talvez tenha sido ele mesmo. Risos...

- Desculpe, Herr Einstein, eu não quero ser incômodo - Diz mais uma vez Van Borbha - Mas, eu gostaria de saber o que o Robertson disse exatamente ao editor da *Physical Review*. O senhor se lembra?

- Mais ou menos, Mr. Van Borbha! Ele disse em sua carta, datada de 1937 e que eu só soube dela muito depois, que ele estava familiarizado com as críticas do *referee* (eu não sei como) e reclamou com o John Tate por ele haver esquecido de lhe manter informado sobre o artigo apresentado no verão passado pelo seu colaborador mais distinto; que no caso, ironicamente, era eu. Risos...

- Muito esquisita, essa história, Herr Einstein. - Diz novamente o Cyrano.

- Deixem isso para lá! De toda forma, eu errei ao ser impulsivo e não acatar as críticas do referee. Se, foi ele, ou não, isso não me importa. O que me importa é que as correções foram feitas e adotando-se as coordenadas cilíndricas foi possível mostrar que as Ondas Gravitacionais

deveriam mesmo existir e serem ondas cilíndricas. De todo modo, eu me beneficieei dos conselhos do referee, mesmo que de uma forma indireta e tortuosa.

- O senhor acha, então que o grande mérito dessa solução pode ser creditado à sugestão original do Robertson? - Pergunta o Van Borbha, mais provocativamente do que nunca.

- Eu não sei, Mr. Van Borbha! Mas acho que a sugestão dele foi muito válida; mas não exatamente original.

- Como, assim, Herr Einstein? Eu não compreendi! - Diz o Carlos Reys. - O senhor não havia tentado achar uma solução de ondas planas sem sucesso? A solução elegante das ondas cilíndricas não é um mérito a ser atribuído à sugestão do Robertson?

- No que me toca, sim! Mas, o Guido Beck, um físico austríaco que havia concluído o seu doutorado em 1925, sob a orientação do Hans Thirring, já havia publicado, naquele mesmo ano de 1925, uma sugestão semelhante.

- E o senhor sabia disso? - Pergunta um tanto atrevidamente o Cyrano.

- Claro que não, Monsier Bahr Etto! Se eu e o Rosen soubéssemos disso, não teríamos tentado a solução improdutiva das ondas planas.

Charles Robert sente que o velho dessa vez não gostou da pergunta do Cyrano e tenta logo mudar o rumo da prosa falando um pouco mais do Guido Beck.

- O Guido trabalhou longo tempo no Brasil, Herr Einstein. Ele foi professor do CBPF, no Rio de Janeiro; isso depois de 1951. Antes, entre 1929 e 1932, ele havia sido assistente do Heisenberg em Leipzig. Em 1935 ele se mudou para a União Soviética e em seguida para a França. Em 1941, ele se mudou para Portugal e em 1943 emigrou para a Argentina onde foi trabalhar no Observatório de Córdoba e no ano seguinte foi um dos fundadores da Associação de Física Argentina. Em 1951 ele mudou-se para o Brasil, indo primeiro para o CBPF e depois para a Universidade de São Paulo. https://pt.wikipedia.org/wiki/Guido_Beck. Ele voltou em 1962 para a Argentina e retornou ao Brasil em 1975, onde residiu até a sua morte, aos 85 anos de idade, em 1988, no Rio de Janeiro.

- Mas, infelizmente, mesmo em 1936, eu ainda não conhecia essa solução do Guido Beck e tive de refazer as coisas do modo que descrevi antes. De todo modo, a sua solução, proposta em seu artigo de 1925, infelizmente parece ter tido pouco impacto por ter sido praticamente ignorada.

- E como foi a sequência do seu traba-

lho no tocante às Ondas Gravitacionais? - Pergunta Calina.

- Sinceramente, para clarificar a situação do impasse teórico à qual havíamos chegado em 1936 ainda foi necessário desenvolver vários novos esquemas de aproximações. Um dos primeiros foi aquele que eu e meus dois assistentes em Princeton, o Leopold Infeld e o Banesh Hoffmann elaboramos em 1938 e que nos conduziu à formulação das hoje famosas Equações EIH, em referência às iniciais dos nossos nomes.

- Em que consistia esse novo esquema proposto em 1938, Herr Einstein? - Pergunta o Carlos Reys.

- Era um tratamento matemático pós-Newtoniano, Dom Carlos, para descrever os movimentos de corpos que se moviam lentamente. Segundo nossa aproximação EIH, não existia radiação até a ordem de v/c elevado à quarta potência; a energia permanecia constante. A fórmula do quadrupolo, sobre a qual vocês haviam me perguntado no início de nossa conversa; aparece, entretanto, já na próxima ordem de grandeza; mas isso só foi demonstrado em 1947 pelo Ning Hu.

- Com todas essas idas e vindas ocorridas no desenvolvimento teórico das soluções das Equações do Campo Gravitacional da Relatividade Geral, o senhor, em algum momento; chegou a duvidar da validade da Teoria como um todo? Assim como fez, ao longo do tempo, em relação às Ondas Gravitacionais? - Pergunta o nosso amigo cubano.

- Jamais, Dom Carlos! Note que a Teoria da Relatividade Geral é algo muito mais grandioso que as suas particulares decorrências teóricas, por mais belas e fundamentais que elas sejam. Ela é um edifício consistente que se baseia nas Equações do Campo Gravitacional, cujas soluções conduzem a diversos, importantes e revolucionários conceitos físicos como as Ondas Gravitacionais, os Buracos Negros, as Lentes Gravitacionais, a Energia Escura... Eu nunca duvidei um único momento sequer da validade da Teoria da Relatividade Geral. Certa vez quando me perguntaram sobre a possibilidade meramente hipotética de que um teste observacional pudesse invalidar a referida Teoria, eu fui bem claro ao afirmar ironicamente que se isso viesse a ocorrer, "então eu sentiria pesar pela obra do Senhor, pois a Teoria estaria correta de todo modo". Risos...

Cyrano, um ateu convicto; dá um largo sorriso com essa observação irônica do velho Albert que frequentemente fazia questão de expressar, de forma elegante, o seu sofisticado panteísmo derivado das leituras do Spinoza; enquanto Calina, reli-

giosa de carteirinha; faz cara de quem não gostou muito do que ouviu. Risos...

- Mas, como fica Deus em sua Teoria, Herr Einstein? - Pergunta ela de forma direta.

- Eu sempre me coloquei como um seguidor do Spinoza no sentido de que apesar de não acreditar em um Deus antropomórfico, sempre admiti que devesse haver uma Ordem Matemática subjacente ao Cosmos. Apenas, neste sentido filosófico, me parece válido se identificar possivelmente esta Ordem Matemática Suprema com um significado talvez divino; mas absolutamente diferente dos muitos cultos e religiões que conheço. Esse sentido de uma Ordem Matemática Suprema no Universo pode certamente conter um esboço de religiosidade; mas não se confunde jamais com uma religião. Eu dei longas entrevistas sobre isso ao meu amigo Max Jammer que escreveu baseado nelas, um livro muito interessante.

- Herr Einstein, nosso papo está muito bom; mas essa sua entrevista está ficando muito longa e eu temo que o nosso editor da FnE não vá querer publicá-la na íntegra. O senhor poderia tentar abreviar o seu relato que se segue e chegar logo na detecção mais recente das Ondas Gravitacionais?

- Certamente! Mesmo porque eu só participei ativamente dessa história até 1955 quando morri. Dai por diante foi só me informar pelos livros, pelas revistas científicas e, mais recentemente, pela Internet. Por isso, eu conheço razoavelmente todo o caminho que se seguiu à minha morte e posso tentar abreviar o seu relato.

- Por mais que eu simpatize com o senhor, Herr Einstein, eu não consigo digerir direito esse negócio maluco de o senhor estar aqui conversando conosco depois de morto. Eu sou ateu convicto e isso fere os meus princípios fundamentais. - Diz enfaticamente o Cyrano. Isso é coisa da cabeça do Alexandre que mete os amigos nesses micos dessas suas entrevistas construídas. Risos...

Eu, um reles e anárquico cético da vida; finjo que não ouço a reclamação do Cyrano, mas não deixo de sorrir para ele em face do seu visível inconformismo com a licença literária dessas minhas ficções baseadas em fatos reais e que tem apenas um objetivo didático: o de tornar coisas muitos difíceis um pouco mais palatáveis e, quem sabe, até mesmo, quando possível, um pouco divertidas.

O Charles Robert vem em meu socorro e reforça o meu pedido ao velho Albert para continuar a sua narrativa de forma mais abreviada e direta.

- E como era o cenário mais amplo das pesquisas sobre as Ondas Gravitacionais, naquela época, Herr Einstein?

- Na verdade, Monsieur Des Saints, como o senhor deve saber as Ondas Gravitacionais e a própria Relatividade Geral não se constituíam inicialmente em um tema muito atraente para os físicos. O período que vai da década de 1920 até os anos 1950 tem sido chamado por isso mesmo de "linha de baixa da Relatividade Geral". Aqueles poucos físicos que trabalhavam sobre o assunto naquela época estavam mais interessados em encontrar uma nova teoria para substituir a Relatividade Geral, que pudesse abranger ou mesmo explicar os novos e instigantes desenvolvimentos na Teoria Quântica; ou na discussão de questões mais gerais relacionadas com a Cosmologia, como a Evolução do Universo como um todo. E mesmo esses poucos físicos estavam espalhados por todo o mundo e só raramente trocavam seus resultados ou ideias. Não havia, em outras palavras, um reconhecido campo de pesquisas chamado de "Relatividade Geral (e Gravitação)" como existe atualmente, com instituições científicas inteiras dedicadas a ele.

- O que tem a ver a Mecânica Quântica com os estudos sobre a Relatividade Geral e mais especificamente sobre as Ondas Gravitacionais, Herr Einstein? - Pergunta Calina.

- Não havia e ainda não há um encontro realmente produtivo entre as duas, madame Calina. O trabalho do Dirac foi, talvez, a última tentativa realmente produtiva nessa direção; mas que envolveu apenas a Relatividade Restrita em sua Quantização bem sucedida do Campo Eletromagnético, ainda que ele tenha se defrontado com dificuldades que foram posteriormente confrontadas pelo Feynman. Na verdade, se eu não simpatizava com o que me parecia um exagerado recurso às descrições meramente probabilísticas da realidade conferidas pelos fundadores da Mecânica Quântica para representar a natureza e sempre acreditei na possibilidade, mesmo remota, de se encontrar algo como uma estrutura fina subjacente às limitações impostas, por exemplo, pelo Princípio da Incerteza do Heisenberg; e discuti isso muitas vezes com meu amigo Bohr, quando fomos colegas em Princeton; sou forçado a admitir que, da perspectiva deles, também existiam problemas em relação às minhas ideias.

- Por favor, seja mais claro, Herr Einstein. - Diz Charles Robert.

- É que na perspectiva deles, da Escola de Copenhague, Monsieur Des Saints, minha equação também criava um proble-

ma, porque ela não lida de forma harmônica com a Mecânica Quântica. A Relatividade Geral é uma teoria extraordinariamente bem sucedida, fornecendo previsões corretas para tudo, desde a Terra e até os aglomerados de galáxias; mas a forma como ela funciona é fundamentalmente incompatível com os métodos convencionais utilizados na Mecânica Quântica. Por quase cem anos, os físicos têm se confrontado com este problema tentando conciliar essas duas teorias; mas nada que eles tentaram até agora foi realmente capaz de produzir algo como uma verdadeira Teoria Quântica da Gravidade.

- Herr Einstein, essa é uma belíssima discussão e eu noto que o senhor não tentou agora aprofundar suas críticas históricas à Escola de Copenhague e que hoje precisariam levar em conta também as recentes descobertas em relação ao emaranhamento quântico. Sua observação de que não se conseguiu ainda construir algo como uma Teoria Quântica da Gravidade, em que pese as muitas tentativas dos teóricos de Cordas, me parece por isso relevante e cautelosa. Mas, apesar da enorme importância deste debate filosófico, voltamos, por favor, ao nosso tema central.

- Eu entendo o seu ponto de vista, mas note que eu só toquei nesse assunto mais filosófico porque ele me pareceu necessário para responder ao questionamento do Monsieur Des Saints. As pesquisas em Relatividade Geral e em especial as considerações sobre as Ondas Gravitacionais sofreram certo atraso e eu diria que a forma de ver a própria Relatividade Geral começou a mudar apenas na metade dos anos 1950.

- Mas, por que a situação das pesquisas em Relatividade Geral mudou e quando ela mudou, Herr Einstein?

- Há uma forte componente social nesta questão. O renascimento da Relatividade Geral só foi possível devido aos consideráveis financiamentos disponibilizados para a Física Teórica após a Segunda Guerra Mundial, assim como pela possibilidade aberta dos cientistas cruzarem as fronteiras internacionais. Mas, a principal força motriz foram os próprios físicos que passaram a reconhecer o enorme potencial para estabelecer uma vibrante comunidade interessada em muitos aspectos da Teoria da Relatividade Geral. Conferências, periódicos e uma sociedade internacional dedicada especificamente à Relatividade Geral foram os resultados. Entre as questões mais candentes que poderiam então ser investigadas estavam exatamente a existência e as possíveis propriedades das Ondas Gravitacionais.

- Como isso ocorreu em uma escala

de tempo, Herr Einstein? Pergunta nosso amigo holandês.

- Por volta da metade da década de 1950, Mr. Van Borbha, exatamente na época em que eu subi para o primeiro andar, ainda existia a forte dúvida teórica se as Ondas Gravitacionais poderiam vir mesmo a ser detectadas por qualquer instrumento que o ser humano viesse a construir.

- Oh, professor, não fale assim - Diz Calina visivelmente amargurada. Para mim o que importa é que o senhor está aqui conversando com a gente, nem que seja devido a essas entrevistas malucas do Alexandre, como diz o professor Cyrano. Vá em frente sem falar que já morreu.

Nesse momento Cyrano fala baixinho ao meu lado:

- Agora vai piorar! Ele vai começar a falar no que aconteceu depois que ele morreu. Como é que ele sabe disso? Argh!

- Relaxa, Cyrano! - Digo eu sorrindo para ele - Viaja na licença literária da entrevista e curte a conversa do velho.

- E então, Herr Einstein, como se deu o ponto de inflexão? - Pergunta sorrindo o Cyrano.

- Logo após a minha morte, discussões acaloradas sobre as Ondas Gravitacionais tiveram lugar na primeira Conferência Internacional inteiramente dedicado à Relatividade Geral realizada em Berna em 1955. Dois anos mais tarde, uma conferência complementar foi realizada em Chapel Hill, na Carolina do Norte. Baseado no trabalho realizado pelo meu amigo, o físico anglo-austríaco Hermann Bondi e pelo físico norte-americano Richard Feynman, um amplo consenso foi formado de que as Ondas Gravitacionais deveriam ser mesmo reais e que elas carregavam energia.

- Mas, como se deu a construção desse consenso, Herr Einstein? - Pergunta Carlos Reys.

- O Richard Feynman e o Hermann Bondi desenvolveram um convincente "experimento em pensamento" denominado de "contas pegajosas". Uma versão "simples" desse "experimento em pensamento" consiste em supor que se tenha algumas contas enfiadas em uma vara pegajosa. Suponha que uma Onda Gravitacional vem e acelera as referidas contas. Estas contas iriam se mover e devido ao atrito iriam transferir um pouco de calor à haste. Esta poderia vir a ser uma hipótese "prova" de que as Ondas Gravitacionais devem transportar energia e que, teoricamente, elas são detectáveis.

- Esse foi realmente o caminho experimental seguido na caça das Ondas Gravitacionais, Herr Einstein? - Pergunta nos-

so amigo holandês.

- Não, Mr. Van Borbha! Outro pesquisador neste campo, o Joseph Webber, da Universidade de Maryland; levantou uma objeção muito razoável, ao afirmar que a tecnologia existente na época era muito pouco sensível para detectar estas ondas gravitacionais, por fatores de bilhões.

- Então, a coisa parou novamente, Herr Einstein? - Pergunta Charles Robert.

- Não, Monsieur Des Saints! As primeiras tentativas para observar os pequenos efeitos produzidos por tais ondas foram feitas exatamente pelo Joseph Weber utilizando um dispositivo que parecia um xilofone. Com alguns assistentes e estudantes, Weber começou sua experimentação por volta de 1960. Após quase uma década, ele anunciou que havia conseguido coletar provas convincentes da existência das ondas gravitacionais. O trabalho do Weber teve um impacto significativo sobre a comunidade científica, o que provocou uma série de experimentos feitos por outros físicos para testar os seus resultados. Nenhum deles, entretanto, conseguiu confirmar as conclusões de Weber; levando, assim, a uma longa e efervescente controvérsia na qual se revelou a importância dos fatores sociais sobre a maneira pela qual as controvérsias científicas a respeito dos resultados experimentais se desdobram e como elas terminam. Embora um consenso finalmente tenha emergido de que nenhuma onda gravitacional havia sido observada nos experimentos de Weber, novas técnicas e metodologias foram desenvolvidas e mais tarde vieram a constituir a base de máquinas maiores, incluindo o LIGO.

- Puxa, Herr Einstein! Gostei de saber dessa alegada influência de fatores sociais na construção de um consenso a respeito da interpretação dos resultados desse experimento do Weber, mesmo sem conhecer ainda os detalhes do caso. Esse negócio de CTSA é a minha área de pesquisa. - Diz o Carlos Reys.

- O que é CTSA, Dom Carlos? - Pergunta sorrindo o velho Albert.

- É a sigla usada, Herr Einstein, para a área de pesquisa em Ensino de Ciências que leva em conta a influência dos fatores tecnológicos e sociais no desenvolvimento e na aprendizagem da Ciência e que engloba hoje aspectos históricos e culturais, assim como outros temas ligados a questões ambientais. Antes se chamava apenas CTS; mas, com o tempo, a relevância das questões ambientais fez o seu nome ser ampliado para CTSA. - Explica Carlos Reys.

- Eu também trabalho com isso. Fiz

o mestrado com o professor Cyrano sobre isso. - Diz Calina.

- Eu também posso dizer que hoje essa é a minha área de atuação, Herr Einstein. Apesar de ter uma carreira em Física Experimental, eu escrevi recentemente um livro sobre Energia com esse enfoque interdisciplinar. - Diz o Charles Robert.

- Muito bem! Então esse novo percurso tomado pelas pesquisas em Relatividade Geral depois de minha morte pode ser tido como um exemplo relevante para esse tipo de estudo que vocês chamam de CTS. Os fatores sociais sempre jogaram um papel importante no desenvolvimento da Ciência. A utilidade prática das coisas e a tecnologia, por exemplo. Vocês talvez achem até estranho que um físico teórico como eu diga algo assim.

- Eu não acho nada, Herr Einstein! - Observa o Cyrano - O senhor é apenas um personagem dessa conversa maluca inventada pelo Alexandre. A culpa é dele e não do senhor. Vai ver que o senhor nunca se interessou mesmo por questões práticas e nem tecnológicas. Está dizendo isso só para nos agradar.

- Nada disso, Monsieur Bahr Etto! Eu apesar de ter sido um dos mais influentes físicos teóricos de todos os tempos, sempre fui muito interessado também em tecnologia e nas suas aplicações e implicações sociais, assim como também em educação e em política.

- É verdade, Cyrano! - Diz o Carlos Reys. Eu estudei na Rússia e lá li um livro maravilhoso sobre as muitas invenções tecnológicas de Herr Einstein escrito por Frenkel e Yavelov, chamado *Einstein o Inventor*. Ele inventou e até patenteou diversos modelos de muitas coisas práticas; de geladeira a compasso magnético. Eu mesmo escrevi umas notas para um artigo sobre esse seu invento da geladeira.

- Que bom saber disso! Não sabia que já haviam escrito livros sobre esse meu lado de pouco conhecido de apaixonado pelas tecnologias. Como eu também gostava muito de Educação, se eu ainda estivesse na ativa, esse negócio de CTSA poderia ser também um campo de estudos do meu interesse.

- Nós ficamos muito felizes com esse seu apoio, Herr Einstein; mas, por favor, termine sua narrativa sobre a descoberta das Ondas Gravitacionais. O Nelson, editor da revista, não imagina como o senhor fala pelos cotovelos e mais do que o homem da cobra. Risos... Ele pensa que é sopa escrever essa sua entrevista com o senhor mudando de assunto em torno do nosso tema central a todo o momento. O Tycho Brahe era bem mais direto que o senhor. E essa já é a sua segunda entre-

vista. Na primeira, alguns anos atrás, até que o senhor falou menos e foi mais direto.

Noto que Albert não gosta muito do meu comentário.

- Se você quiser fazer uma entrevista mais curta; vá conversar com o Dirac. Ele costuma dar poucas palavras. Risos...

- Talvez, outro dia, Herr Einstein; mas, agora, eu agradeceria muito que o senhor, se possível, continuasse a sua narrativa.

- Tudo bem! Onde eu estava?

- Estava falando dos resultados negativos dos experimentos do Weber na tentativa de detecção das ondas gravitacionais nos anos 1960.

- Pois bem! Como eu estava dizendo, além dos avanços na tecnologia, um segundo pré-requisito para a detecção direta das Ondas Gravitacionais anunciada recentemente em fevereiro de 2016; foi uma melhor compreensão de suas fontes astronômicas. De fato, uma detecção "indireta" das mesmas já havia sido realizada em 1974, observando-se de perto um sistema binário de estrelas de grande massa orbitando um centro de massa comum e que lentamente perdia energia ao emitir ondas gravitacionais, com a consequência de que as estrelas desaceleravam e se moviam cada vez mais próximas uma da outra. A perda de energia, observada por Joseph Taylor e Russell Hulse, combinava com os cálculos teóricos relativísticos; tendo por isso Hulse e Taylor recebido o Prêmio Nobel de Física em 1993.

- Quer dizer, então que já haviam descoberto as Ondas Gravitacionais antes mesmo desse badalado experimento do LIGO anunciado em fevereiro deste ano de 2016? - Pergunta o Cyrano.

- Não exatamente, Monsieur Bahr Etto! A detecção que deu o Nobel a Taylor e Hulse foi apenas indireta. Essa detecção das ondas gravitacionais recente feita pela equipe do LIGO foi direta, mesmo. Mas, mesmo antes do trabalho do Hulse e do Tayler, ainda em 1962, os físicos russos Gertsenshtein e Pustovoit publicaram um artigo esboçando um método para detectar as Ondas Gravitacionais. As ondas, entretanto, não foram captadas.

- E como se chegou a esse experimento bem recente do LIGO, Herr Einstein? - Pergunta Carlos Reys.

- Em 1972, Dom Carlos, o Rainer Weiss do Massachusetts Institute of Technology (MIT) em Cambridge, nos Estados Unidos; escreveu um artigo descrevendo em linhas gerais o projeto do LIGO. No referido texto, ele propunha um método óptico já bem conhecido, um interferômetro, para detectar as Ondas Gravitacionais.

Mas, voltando um pouco em nossa narrativa, a fonte das ondas gravitacionais detectadas recentemente pelo LIGO é nova, pois ela envolve a colisão de dois buracos negros. O próprio conceito de um buraco negro é algo que resultou de uma nova compreensão das minhas equações relativísticas. Ainda assim, a existência real dos buracos negros só começou a ser levada a sério também depois dos anos 1960, quando observações feitas no campo recém-criado da Radioastronomia indicaram que tais objetos extremos realmente existiam em galáxias distantes. E a tecnologia de rádio que permitiu a obtenção desses resultados havia sido em boa parte desenvolvida como um subproduto das investigações operadas durante a Segunda Guerra Mundial com o RADAR em outro exemplo desse campo que vocês chamam de CTS.

- Muito interessante, Herr Einstein. - Diz o Carlos Reys - Mas, como era a ideia básica desse interferômetro do Rainer Weiss que deu origem ao LIGO?

- Weiss sugeriu uma ideia diferente que iria usar Raios Laser para medir o alongamento e a contração espacial causada por uma Onda Gravitacional que, porventura; passasse pelo seu interferômetro cuja concepção era semelhante ao usado pelo Michelson para estudar a velocidade da luz, ainda no século XIX.

- E como essa ideia progrediu? - Pergunta Van Borbha.

- Em meados dos anos 1970 dois físicos, o Rainer Weiss e o Kip Thorne juntaram os seus esforços com um notável experimentalista, o Ronald Drever. Eles estabeleceram o método de detecção das ondas gravitacionais que consistia em dividir um feixe de laser em dois feixes separados no interferômetro e em seguida, fazê-los passar através de dois braços tubulares em ângulos retos no instrumento. Estes braços tinham quatro quilômetros de extensão e no final de cada um deles havia espelhos dependurados que refletiam os feixes de laser de volta para onde eles haviam efetuado a divisão. Então, esses dois feixes de LASER eram recombinados e atingiam conjuntamente um detector onde era possível se observar o padrão de interferência formado.

- Mas, onde entram, as tais ondas gravitacionais, nesse negócio, Herr Einstein? O senhor só falou em raios LASER desde a fonte até eles atingirem, já recombinados o detector. - Questiona nosso amigo holandês.

- Boa pergunta, Mr. Van Borbha! Suponha que uma onda gravitacional venha ondulando através do nosso sistema solar; ondulando o próprio tecido do espaço-

tempo. Quando ela atingir o instrumento, os braços do mesmo devem mudar de comprimento, e com isso o padrão de interferência dos dois feixes de LASER deve mudar também. Desde a ideia inicial levou cerca de 20 anos; mas, finalmente, em meados dos anos 1990, a construção do LIGO teve início. LIGO significa *Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory* ou Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferometria LASER. E, como vocês sabem bem, em setembro de 2015, a sua importância tornou-se evidente quando a primeira detecção foi feita.

- Mas, antes do LIGO, a equipe de BICEP2 também havia anunciado a mesma descoberta. Como foi isso, Herr Einstein? - Pergunta Cyrano.

- De fato, Monsieur Bahr Etto, em 2014 os pesquisadores do experimento BICEP2 (que se originara no Caltech) anunciaram com grande alarde que eles haviam encontrado as ondas gravitacionais que confirmavam também a existência da Inflação Cósmica, o dramático surto de crescimento do Universo ainda jovem. Uma onda de críticas, entretanto, se seguiu a esse anúncio mostrando que as observações haviam sido confundidas pela poeira galáctica.

- E como foi essa detecção bem sucedida recente do LIGO? - Pergunta Charles Robert.

- As ondas gravitacionais foram captadas em 14 de setembro de 2015 pelos detectores interferométricos gêmeos do LIGO, localizados um em Livingston, na Louisiana e o outro em Hanford, no estado de Washington, nos Estados Unidos; ou seja um na costa Leste e outra na costa Oeste para maximizar a distância entre eles.

- Mas, por que os pesquisadores usaram dois interferômetros, Herr Einstein? Não bastava um? A equipe do LIGO tinha receio que um deles se quebrasse e por isso construíram outro de reserva? E por que tão longe um do outro? - Questiona Calina.

- Na verdade, madame Cacá; não se trata de um instrumento operativo e de outro reserva; pois ambos são utilizados ao mesmo tempo em um processo de triangulação semelhante ao que se faz em Topografia com dois teodolitos para se localizar um objeto. Apenas com um instrumento não seria possível determinar a posição da fonte emissora para depois se investigar sua natureza com poderosos radiotelescópios.

- Entendi! E como essas ondas gravitacionais foram produzidas e qual era essa sua fonte?

- As Ondas gravitacionais carregam

informação acerca das suas origens dramáticas e sobre a natureza da gravidade que não podem ser obtidas de outra forma. Os físicos concluíram que aquelas ondas gravitacionais detectadas haviam sido produzidas durante uma fração de segundo final da fusão de dois buracos negros que geraram um único e mais massivo buraco negro em rotação.

- Mas, que colisões de buracos negros podem ocorrer e que em tais condições deveriam ser produzidas ondas gravitacionais, não era exatamente algo novo. - Observa nosso amigo holandês. - O problema era passar da teoria para a prática.

- Isso mesmo, Van Borbha! Esta colisão de dois buracos negros já tinha sido prevista, mas nunca havia sido observada. Na prática, o que os pesquisadores encontraram foram distorções no tecido do espaço-tempo causadas por dois buracos negros que se chocaram há 1,3 bilhão de anos. A monstruosa colisão lançou ondas gravitacionais em todas as direções até chegarem à Terra no dia 14 de setembro, quando foram captadas pelos instrumentos do LIGO.

- Mas, como funciona mesmo esse interferômetro do LIGO, Herr Einstein? - Pergunta Calina - Eu não visualizei direito

a sua explicação.

O velho Albert tira do bolso um moderno *smartphone*, para nossa surpresa geral, e conecta o mesmo pela Internet em uma página na qual há uma interessante figura ilustrativa e nos diz:

- Para que vocês compreendam melhor os detalhes básicos do método usado no LIGO, vejam essas imagens que eu obtive na Internet. - Fig. 1.

- Notem que o DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS do LIGO consiste, como eu disse antes, de dois TUBOS perpendiculares entre si e rigorosamente de mesmo comprimento. MASSAS ESPELHADAS são suspensas nas extremidades de cada um dos tubos. Um feixe de LASER enviado por uma FONTE localizada no lado esquerdo da figura é dividido em dois outros feixes nesse espelho inclinado do meio da figura e a partir daí esses dois feixes resultantes percorrem respectivamente os dois tubos perpendiculares e são refletidos pelas duas massas espelhadas das extremidades dos mesmos retornando em direção do DETECTOR DE LUZ.

- Agora, vendo essa figura, eu compreendi. - Diz Calina com visível alegria - Mas, onde estão na figura, as tais massas espelhadas penduradas que o senhor

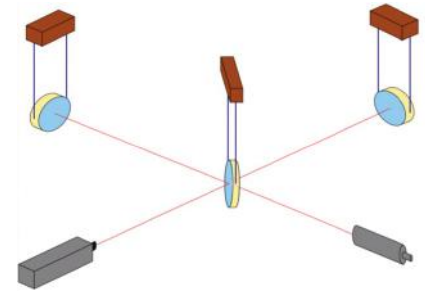


Figura 2: Representação esquemática simplificada do LIGO com seus espelhos defletores.

falou?

- Olhe essa outra figura esquemática ainda mais simples. - Fig. 2.

- Legal! Saquei! Quer dizer, Herr Einstein, que quando uma onda gravitacional passa através do aparelho, as duas massas espelhadas dependuradas nas extremidades dos dois tubos perpendiculares sofrem a sua leve influência e se movem diferentemente de uma distância muito diminuta, mas ainda capaz de provocar uma leve alteração nos comprimentos dos percursos do feixe gerando, assim, um perceptível padrão de interferência?

- Isso mesmo! Acertou em cheio! Os dois feixes de laser são refletidos por espelhos pendurados nas extremidades dos tubos retornando, assim, ao ponto no qual haviam se dividido do feixe original e ali tornam a se recombinar para em seguida atingirem o detector onde o padrão de interferência pode ser analisado.

- E qual é a precisão dessas medidas, Herr Einstein? - Pergunta o Charles Robert.

- É uma precisão colossal, Monsieur Des Saints. Com as novas tecnologias disponíveis, a partir da observação dos padrões de interferência, os físicos podem comparar os comprimentos relativos dos dois braços tubulares do interferômetro com uma incrível precisão de 1/10.000 da largura de um próton.

- UAU! - Dizemos todos nós ao mesmo tempo.

- Pois, é! Essa sensibilidade é suficiente para se perceber a passagem de uma Onda Gravitacional de natureza cilíndrica; uma vez que esta passagem causa uma minúscula dilatação, de outra forma praticamente imperceptível, dos braços do instrumento por diferentes quantidades. Para detectar esses deslocamentos muitíssimo pequenos, no entanto, os cientistas devem amortecer as vibrações, como o ruído das ondas sísmicas, as oscilações do tráfego, e o bater das ondas no litoral distante.

- Como é essa tal onda cilíndrica, Herr Einstein? Eu tenho visto algumas figuras

Esquema de funcionamento dos dois observatórios LIGO

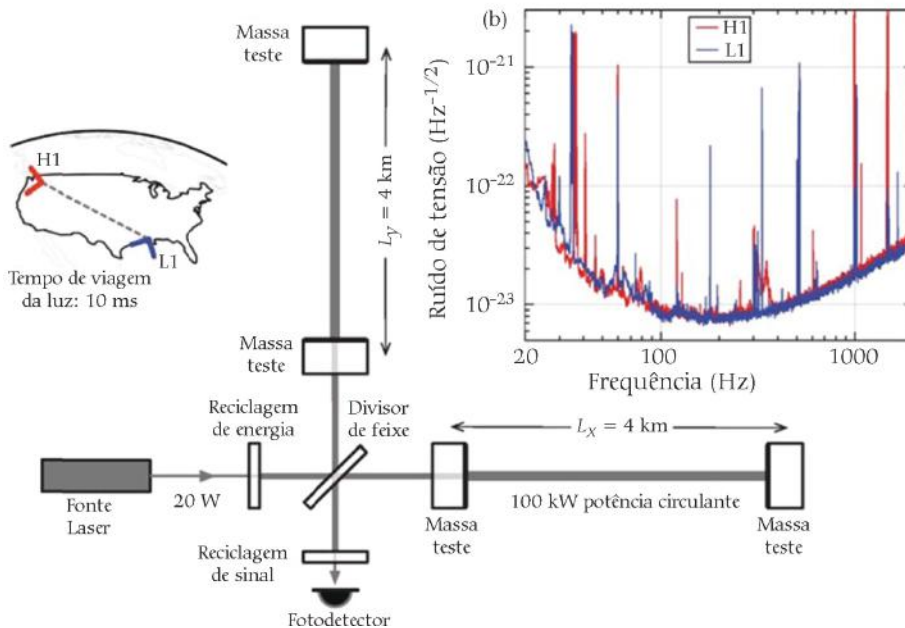


Figura 1: O DETECTOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS do LIGO consiste antes, de dois TUBOS perpendiculares entre si e rigorosamente de mesmo comprimento. MASSAS ESPELHADAS são suspensas nas extremidades de cada um dos tubos. Um feixe de LASER enviado por uma FONTE localizada no lado esquerdo da figura é dividido em dois outros feixes nesse espelho inclinado do meio da figura e a partir daí esses dois feixes resultantes percorrem respectivamente os dois tubos perpendiculares e são refletidos pelas duas massas espelhadas das extremidades dos mesmos retornando em direção do DETECTOR DE LUZ.

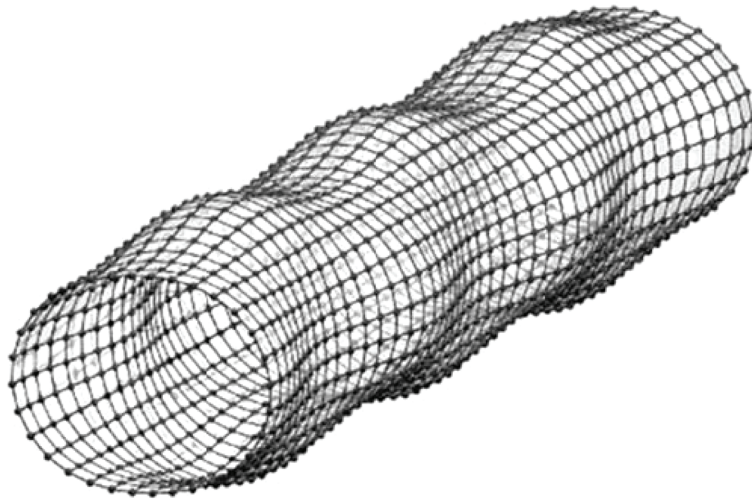


Figura 3: Viajando à velocidade da luz, uma onda gravitacional dilata o espaço em uma

na Internet representando as ondas gravitacionais de uma forma semelhantes às ondas no mar. - Pergunta, novamente, Calina.

- Eu não diria que elas estão rigorosamente erradas, embora estejam mesmo. Risos... O problema é que muitas vezes o autor da figura está querendo representar a geração da onda na fonte emissora e sua captação na Terra sem se preocupar com o seu formato mais preciso. E, convenhamos que em tais circunstâncias não é fácil representar em uma figura assim o formato cilíndrico das ondas gravitacionais. Isso fica mais bem evidenciado em uma

figura específica para tal finalidade, como esta terceira figura. Vejam! - Fig. 3.

- MUITÍSSIMO interessante, Herr Einstein! Diz o nosso amigo cubano - Mas, como podemos visualizar melhor a forma como a tal onda distorce os braços do interferômetro?

- Muito bem, Dom Carlos! Gostei muito do verbo que o senhor empregou ao fazer sua pergunta: "como a onda DISTORCE os braços do interferômetro?". O verbo DISTORCER é interessante, neste contexto, pois pode significar tanto uma DILATAÇÃO quanto um ENCURTAMENTO. E isso tem tudo a ver com a natureza

cilíndrica da onda. Viajando à velocidade da luz, uma onda gravitacional dilata o espaço em uma direção e o encurta em uma direção perpendicular; revertendo em seguida estas mesmas distorções. Vejam esta quarta figura. - Fig. 4.

- Puxa, que legal! - Diz Calina.

- Realmente, Herr Einstein, essa quarta figura é muito ilustrativa de um detalhe pouco discutido em textos de divulgação científica. - Observa nosso amigo holandês.

- E com isso a confirmação da existência das ondas gravitacionais é bem diferente daquela anterior que valeu a Taylor e Hulse o Nobel de 1993. - Diz o Carlos Reys.

- Isso mesmo, Dom Carlos! Com esta descoberta, fica confirmada por uma detecção direta a existência das ondas gravitacionais, a existência de buracos negros e também a coalescência deles em sistemas binários. E tudo isto, coincidentemente, cerca de 100 anos depois da apresentação inicial de minha da Teoria da Relatividade Geral e com minha previsão original da existência dessas tais ondas gravitacionais. Imaginem a minha felicidade! Risos...

- C'est Magnifique! - Diz Charles Robert.

- Emocionante! - Diz Carlos Reys.

- Muito Massa! - Diz Calina.

- Genial! - Diz Van Borbha.

- Legal! - Diz Cyrano.

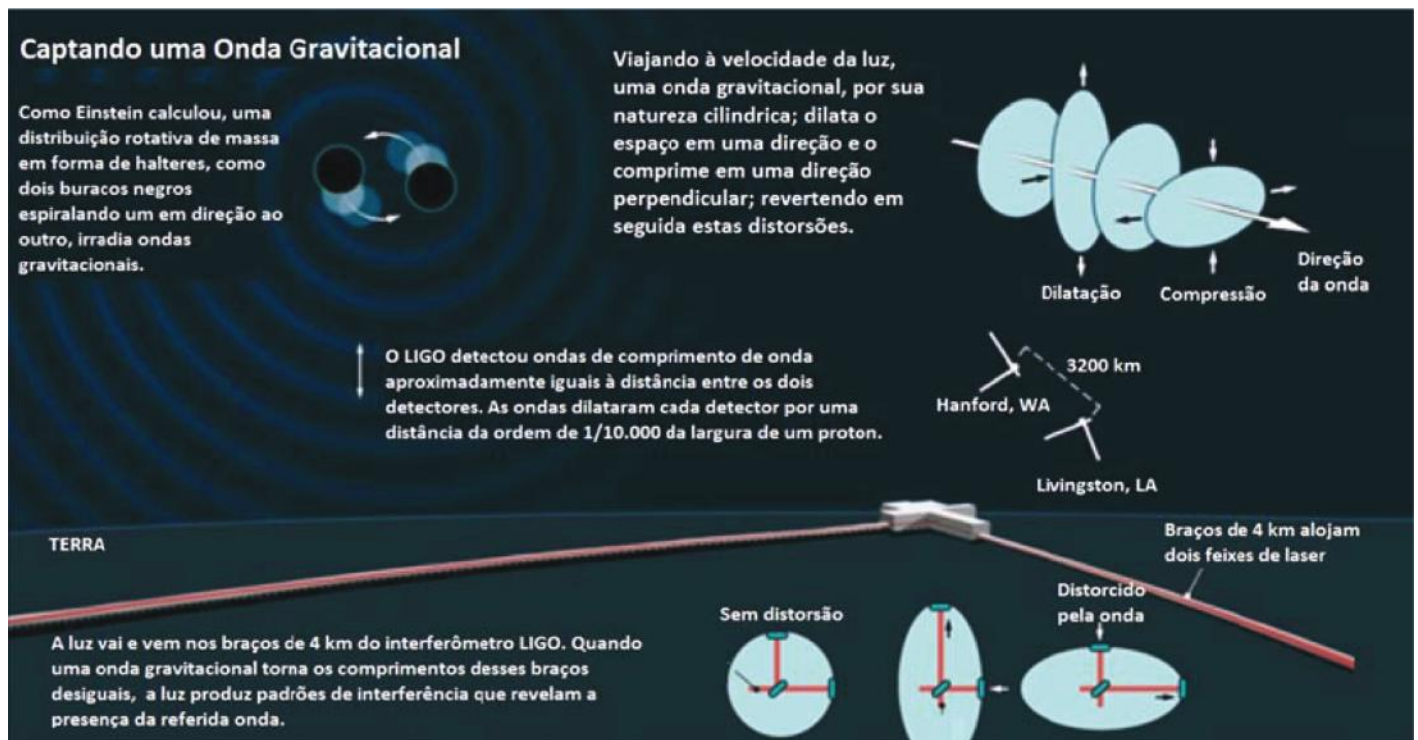


Figura 4: Geração, propagação e captação das Ondas Gravitacionais.

- Finalmente! - Digo eu, Risos...

- E quais são as possibilidades que esta descoberta abre para o ser humano, Herr Einstein? - Dizemos todos nós, de diferentes maneiras e quase ao mesmo tempo.

- Com a detecção das ondas gravitacionais o ser humano poderá ampliar a sua compreensão do Universo. Passaremos a olhar o Universo com novos olhos através das informações trazidas não apenas pela luz visível ou até mesmo pelas ondas eletromagnéticas de um modo mais geral. É como se nós tivéssemos, a partir de agora, descoberto novos tipos de olhos capazes de ver as essas pequenas vibrações do espaço-tempo provocadas por eventos cósmicos dramáticos de dimensões colossais e que são fenômenos extraordinários em todos os sentidos; coisas que eram inimagináveis até bem pouco tempo. No limite nós sonhamos em ver cada vez mais perto o próprio momento da criação.

Todos nós ficamos literalmente encan-

tados e silenciosos com um profundo respeito e admiração ao ouvirmos aquelas elegantes palavras proferidas pelo velho Einstein.

E, de repente, em meio àquele respeitoso silêncio ouvimos o estampido de uma EXPLOÇÃO.

BUUUUUM!

- O que foi isso? - Gritam todos que estão no restaurante, ali na linda praia de Galinhos, literalmente apavorados.

Todos nós corremos imediatamente para a areia da praia para olhar na direção Sul de onde veio o enorme estampido e de onde agora se ergue uma alta coluna de fumaça negra.

Ao longe, nós identificamos a origem do ruído que nos assustou. Foi um dos novos e enormes geradores eólicos instalados sobre as dunas de areia distantes que explodiu (Fig. 5).

Calina, sorrindo, diz:

- Eu pensei que tivessem sido dois buracos negros que tivessem se chocado aqui

na praia de Galinhos e o tremor sentido tivesse sido as suas ondas gravitacionais. Risos... - O senhor não acha; Herr Einstein?

- Herr Einstein? Onde está o senhor?

- Gritamos todos nós já preocupados.

- Sumiu! Escafedeu-se! - Diz Cyrano sorrindo com um ar de ironia e olhando para mim. Agora, você vai ter de inventar outra entrevista maluca se quiser que ele apareça de novo. Risos...



Figura 5: Explosão do gerador eólico, o que comprova a veracidade de toda a estória narrada neste artigo. (risos!)

Saiba mais

- Bill Andrews, in: *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Abhay Ashtekar (ed.) *100 Years of Relativity: Space-Time Structure - Einstein and Beyond* (World Scientific Publishing, Singapore, 2005).
- Marcia Bartusiak, in: *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Carl Brans, <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0506063>.
- Bruce Dorminey, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Joshua Frieman, Michel Turner and Dragan Huterer, <https://arxiv.org/abs/0803.0982>.
- Hubert Goenner, <http://arxiv.org/abs/0811.4529>.
- Alex Harvey, <http://arxiv.org/abs/1211.6338>.
- M. Hobson, G. Efstathiou and A. Lasenby, *General Relativity: An Introduction for Physicists* (Cambridge University Press, Cambridge, 2006).
- Leopold Infeld, *Quest - The Evolution of a Physicist* (Gollancz, London, 1941).
- Max Jammer, *Concepts of Simultaneity: From Antiquity to Einstein and Beyond* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2006).
- Max Jammer, *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics* (Dover Publications Inc., New York, 1993).
- Max Jammer, *Einstein and Religion* (Princeton University Press, Princeton, 1999).
- Daniel Kennefick, <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9704002.pdf>.
- Daniel Kennefick, <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/9704002.pdf>.
- Daniel Kennefick, *Physics Today* (2005).
- Daniel Kennefick, *Traveling at the Speed of Thought. Gives an Excellent Overview of the History of Gravitational Waves*, disponível em http://www.fma.if.usp.br/~rivelles/Int_Relatividade_Geral/int_relgel.pdf.
- Imry Lakatos and Alan Musgrave, *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge University Press, Cambridge, 1970).
- Imri Lakatos, *Proofs and Refutations* (Cambridge University Press, Cambridge, 1976).
- Alexandre Medeiros e Cleide Medeiros, *Einstein e a Educação* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- Alexandre Medeiros e Cleide Medeiros, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **22**, (2005).
- Alexandre Medeiros, *Física na Escola* **6**(1), página inicial (2005).
- Alexandre Medeiros e Rogério Porto, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, (2003).
- Steve Nadis, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Hans Ohanian, *Gravitation and Spacetime*. (W.W. Norton & Co., New York, 1976).
- Abraham Pais, *Subtle is the Lord. The Collected Papers of Albert Einstein* (Oxford University Press, New York, 1982).
- Henri Poincaré, *La Science et l'Hypothèse* (Dover Publications, London, 2011).
- Gabriel Popkin, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Carlos Santos, *O Plágio de Einstein* (WS Editor, Porto Alegre, 2003).
- Raymond Serway and John Jewett, *Physics for Scientists and Engineers* (Cengage Learning, New York, 2013).
- Donal Shaper (ed.) *Gravitational Physics: Exploring the Structure of Space and Time* (National Academy Press, Washington DC, 2003).
- Vesselin Petkov, *Relativity and the Nature of Spacetime* (Springer-Verlag, Berlin, 2005).
- Wolfgang Rindler, *Relativity Special, General, and Cosmological* (Oxford University Press, Oxford, 2006).
- Moritz Schlick, *Space and Time in Contemporary Physics: An Introduction to the Theory of Relativity and Gravitation* (Dover Pub Inc, New York, 2005).
- Lee Smolin, *The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, The Fall of a Science and What Come Next* (Houghton Mifflin Company, Boston, 2006).
- John Sullivan, *Three Men Discuss Relativity* (Alfred Knopf Ed, New York, 1926).
- Richard Talcott, *Discover Magazine - Special Edition: A Century of Gravitational Waves*, 2015.
- Justin Worland, *A Brief History of the Search for Gravitational Waves*. *Time*, Feb 11, 2016.
- Alexander Blum, Roberto Lalli and Jürgen Renn, *One Hundred Years of Gravitational Waves* (Max Planck Institute for the History of Science, Berlin, 2016), disponível em <https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/content/one-hundred-years-gravitational-waves>.
- Jorge Valdés, *La Grand Illusión III: Las Ondas Gravitacionales* (Fondo de Cultura Economía, Ciudad de Mexico, 1997).